Є.М. Петрикова

АРМАТУРА

для залізобетонних конструкцій





МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Є. М. Петрикова

АРМАТУРА ДЛЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Рекомендовано Міністерством освіти
і науки України як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів
(лист № 1/11-9032 від 10.11.09)

Київ
«Основа»
2010

УДК 624.012.45(075.8)
ББК 38.626.1я73
П30

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів (лист Міністерства освіти і науки України № 1/11-9032 від 10.11.09)

Рецензенти:

Климов Ю. А., доктор технічних наук, професор, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури

Бамбура А. М., доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділом надійності будівельних конструкцій Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

Мозговий В. В., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету

Петрикова Є. М.

П30 Арматура для залізобетонних конструкцій: Навчальний посібник. — К.: Основа, 2010. — 256 с.
ISBN 978-966-699-554-7

Розглянута сумісна робота арматури і бетону, класифікація арматурних сталей і арматурного прокату. Наведена інформація про вимоги нормативної документації України до сортаменту, механічних і споживчих властивостях прокату, особливості його маркування, пакування і транспортування. Розглянуті вимоги до ненапружуваних арматурних виробів з врахуванням їх багатономенклатурності та вимоги до напружуваної арматури і пристроїв для її закріплення при натягуванні. Наведена інформація про умови замінення арматурних сталей при виготовлені ненапружених арматурних виробів та про контроль якості арматурного прокату і арматурних виробів. Міститься інформація про вимоги нормативної документації міжнародних, європейських і закордонних стандартів до якісних показників арматурного прокату і неметалевої арматури. Відображено сучасний стан, рівень технології і напрями виробництва і застосування неметалевої арматури для бетонних і залізобетонних конструкціях.

Призначений для студентів вищих навчальних закладів спеціальності «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів».

УДК 624.012.45(075.8)
ББК 38.626.1я73

ISBN 978-966-699-554-7

ЗМІСТ

ВСТУП

Арматура залізобетонних конструкцій є найбільш масовим видом продукції з високоміцної сталі. Не дивлячись на існуючу в світі тенденцію до скорочення виробництва сталевого прокату, обсяг випуску арматурної сталі за останні 20 років виріс майже вдвічі.

На початку розвитку виробництва залізобетонних конструкцій із зварними каркасами та попередньо напруженою арматурою сталь вважали цілком пружним матеріалом і не враховували можливих змін напруженого стану арматурних елементів внаслідок розвитку непружних властивостей. Але подальші дослідження залізобетонних конструкцій у процесі виготовлення та експлуатації показали, що арматурна сталь являє собою пружно-вязко-пластичний матеріал, і її властивості значною мірою змінюються залежно від хімічного складу, структури, методів обробки на металургійних підприємствах і заводах збірного залізобетону.

В 70–80-х роках минулого сторіччя відбулись революційні зміни в технології виробництва і властивостях високоміцної стержньової арматурної сталі для звичайного і попередньо напруженого залізобетону, більша частина якої зміцнена в потоці прокатування чи з використанням інших сучасних технічних засобів. Змінився періодичний профіль стержньової арматури, введено прокатне маркування міцності і заводу виробника, відбувається поступова заміна в ненапруженому залізобетоні сталі з границею текучості 290–400 МПа на сталь з границею текучості 500 МПа. Розвивається випуск напружуваної стержньової арматури з границею текучості – 1000–1200 МПа, а також стабілізованого високоміцного дроту і арматурних канатів з тимчасовим опором вище 1700 МПа.

Інтенсивний розвиток будівництва з монолітного залізобетону в останнє десятиріччя в Україні призвів до суттєвої зміни в структурі споживання арматурного прокату. Так, якщо ще в 90-х роках минулого сторіччя, обсяг виробництва збірного залізобетону більш ніж вдвічі перевищував обсяг виробництва монолітного, то зараз спостерігається прямопротележна картина. Відповідно суттєво зменшилась і доля виробництва попередньо напруженого залізобетону, в якому завжди приоритетне місце займали конструкції з збірного залізобетону заводського виготовлення.

Така зміна співвідношення між збірним і монолітним, а також ненапруженим і попередньо напруженим залізобетоном не могла не вплинути на виробництво і структуру споживання арматурного прокату, де на перше місце поступово виходить прокат класу А500С за ДСТУ 3760 з серповидібним профілем, що значно спрощує його зчеплення з бетоном. Така арматура випускається на Криворізькому металургійному комбінаті (ВАТ «Міттал Стіл Кривий Ріг»).

Одним з загальних напрямів світового розвитку ненапружуваної арматури є замінення всіх класів арматурної сталі для звичайних залізобетонних конструкцій на один клас. Всі країни Європи вже перейшли на виробництво і застосування в будівництві тільки одного класу уніфікованої зварюваної арматури А500С(В500W). Перехід на арматуру класу А500С замість інших класів арматури забезпечує зменшення витрат сталі в середньому на 10–15%, при цьому її вартість дорівнює вартості арматури класу А400.

Основні тенденції в структурі виробництва і споживання арматурного прокату будуть визначатися темпами гармонізації вітчизняних і закордонних нормативних документів з виробництва арматурного прокату і норм проектування залізобетонних конструкцій.

Спостерігаються зміни і в використанні ненапружених арматурних виробів. Так, залізобетон армували укрупненими арматурними виробами заводського виготовлення, до яких відносять: плоскі і гнуті сітки і каркаси, просторові (об'ємні) каркаси і закладні деталі. Більша частина арматурних виробів була уніфікована та їх виготовляли централізовано. Зараз арматурні вироби характеризуються більшою багатономенклатурністю. Існують сотні марок арматурних виробів, що розрізняються розмірами, конфігурацією і характеристикою сталі, яку використовують для їх виготовлення. Спостерігається тенденція виготовлення виробів за замовленнями індивідуальних розмірів і перерізів.

В багатьох країнах, в тому числі і в Україні, спостерігається перехід до більш широкого використання в звичайних залізобетонних конструкціях неметалевих базальтових, склопластикових і інших видів неметалевої арматури. За кордоном почали виготовляти і використовувати міцні арматурні елементи для натягування «на бетон» з кевлара, арамідних волокон і вуглепластика, що є досить перспективним напрямом.

Навчальний посібник «Арматура для залізобетонних конструкцій» призначений для засвоєння курсу з такою ж назвою студентам спеціальності «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів». Він може бути корисним працівникам сфери виробництва і зведення залізобетонних конструкцій.

Автор із вдячністю прийме усі зауваження, які будуть спрямовані на покращення його змісту при перевиданні.

Автор виражає вдячність за поради, зауваження і консультативну допомогу в роботі над рукописом Н. Г. Русановій, професору кафедри технології будівельних конструкцій і виробів КНУБА і головному технологу ВАТ «Броварський завод будівельних конструкцій» Б. М. Полігушко.

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

a	товщина оправки для випробування арматури на згинання
A	крок вм'ятин дроту з вуглецевої сталі
b	ширина сітки і каркаса; довжина кінця фібри: хвилястого, розплющеного і з відгинами на кінцях; ширина поперечних виступів арматури періодичного профілю; довжина виступу для низьколегованого дроту
b_1	довжина плоскої частини розплющеного кінця фібри; ширина поздовжніх виступів арматури періодичного профілю
C	відстань між кінцями поперечних виступів арматури періодичного профілю; середнє значення границі міцності
$\tilde{C}e$	вуглецевий еквівалент
d	діаметр зразка арматури; діаметр тіла прутка без врахування поздовжніх і поперечних виступів; номінальний діаметр дроту; діаметр дротин канату
d_1	діаметр прутка з врахуванням поздовжніх і поперечних виступів
d, d_1, d'_1, d_2	діаметри поздовжніх і поперечних стержнів в сітках і каркасах; відповідно вихідний діаметр (d_1) стержня до зварювання і діаметр стержня в місці розриву (d_2)
d, d_f	діаметр фібри
$d_н$, $D_н$	номінальний діаметр арматурного стержня
$d_к$	діаметр анкера у вигляді приварених коротунів
D	умовний діаметр каната; діаметр оправки; діаметр валків для випробування дроту на перегинання
D_1	умовний діаметр першого витка каната
E_s	початковий модуль пружності
E	модуль деформацій
f_r	відносна площа зминання поперечних виступів
F_a	номінальна площа перерізу стержня

F_0	початкова площа поперечного перерізу зразка при випробуванні на розтягування і стискання
F_{cm}	площа зминання, що визначається як проекція поперечних виступів профілю на площину, перпендикулярну осі арматурного стержня
h	висота поперечних виступів; глибина вм'ятин дроту; відповідно – висота хвилі , висота розплющеного кінця і відгину фібри
h_1	глибина поздовжніх виступів арматури періодичного профілю
$h_п$	висота проушини стропової петлі
$h_б$	глибина запуску кінців гілок стропових петель в бетон
$h_в$	висота виступу фібри
h_{min}, h_{max}	мінімальна і максимальна висота поперечних виступів
K	коефіцієнт, який враховують в розрахунках міцності хрестоподібних з'єднань арматури, виконаних контактно-точковим зварюванням при випробуванні на зрізування
l	довжина сітки, каркаса, фібри; довжина зразка арматури при випробуванні на розтягування; відстань між твірними опор при випробуванні на згинання
l_a	довжина запуску кінців гілок стропових петель в бетон
l/d, l/d_f	відносна довжина фібри, відношення довжини до діаметра
l_x, $l_п$	довжина хвилі фібри
$l_в$	довжина западини фібри
$l_ш$	довжина зварного шва для привареного коротуна і привареної петлі
l_0	початкова розрахункова довжина при випробуванні арматури на розтягування
$l_к$	кінцева, розрахункова довжина, яку вимірюють після розриву, на ділянці, що включає місце розриву; довжина коротуна
l_u	кінцева, розрахункова довжина, що не вміщує місце розриву і вимірюється на відстані $3d - 5d$ (30 чи 50 мм при $d_н < 10$ мм) від місця руйнування

Σl	сумарна довжина арматури в певному арматурному виробі
Δl	абсалютне подовження
Δl_m	величина залишкової деформації, яка дорівнює 0,2% бази тензометра
Δl_y	середня величина пружної деформації на одному етапі навантаження
$\Delta l_{зал}$	залишкова деформація, яка для $\sigma_{0,2}$ дорівнює 0,02% бази тензометра
$\Delta l_{0,35}$, $\Delta l_{0,1}$	відносне подовження зразка відповідно для 0,35 P_{max} і 0,1 P_{max}
L	довжина зразка при випробуванні на згинання; довжина закладання канатів в гільзу при стикуванні напружуваної арматури
l_1	відстань від нижньої поверхні повідка до верхньої твірної валків при випробуванні на перегинання
l_2	відстань від верхньої поверхні губок до лінії, що поєднує центри валків при випробуванні на перегинання
l_1; l_2, l_3	розміри контрольних зразків хрестоподібних з'єднань, які підбирають залежно від номінального діаметра стержнів
m	маса зразка арматури при випробуванні на розтягування
n, n_1	кількість стержнів в арматурному елементі відповідно до і після замінення; позначення завода виробника (n) і класу міцності прокату (n_1)
P	задане зусилля натягування арматури; розривне зусилля; навантаження на конструкцію; випробувальне навантаження
P_{max}, P_T, $P_{0,2}$, $P_{0,02}$	відповідно осьове навантаження розтягнення, що відповідає тимчасовому опору; фізичній границі текучості; умовній границі текучості; умовній границі пружності
$P_{0,1}$, $P_{0,35}$	осьове навантаження розтягнення відповідно 0,1 P_{max} і 0,35 P_{max}
$P_q^в$	несуча спроможність всієї арматури в даному виробі, що змінюється
P_n^c	несуча спроможність одного стержня наявної арматури
$P_n^в$	несуча спроможність всієї наявної арматури в даному виробі

$P_к$	міцність стикових з'єднань арматурних стержнів і з'єднань стержнів з елементами закладних деталей при випробуванні на розтягування, відривання і зрізування; міцність хрестоподібних з'єднань арматури, виконаних контактно-точковим зварюванням при випробуванні на зрізування
P_1, P_2, P_3	руйнівне навантаження для кожного з зразків, які випробовують на зрізування
P_{min}	мінімальне значення руйнівного навантаження для зразків, які випробовують на зрізуванняз
P_{cp}, P_p	навантаження, яке приймають за діючою нормативною документацією, залежно від діаметра при випробуванні зразків на зрізування
q	маса одного погонного метра арматурних прутків
Q	сила, що діє на клин
ΔQ	перевитрати арматурної сталі після замінення
Q_q, Q_n	сумарна маса відповідно дефіцитної замінюваної арматури, для даного арматурного елемента і наявної арматури, з врахуванням необхідності змінення кількості стержнів арматурного виробу
R, r	радіуси загину петлі і гілок монтажних петель; радіус спряження поверхні вм'ятин з виступами дроту з низьколегованої сталі; радіус циліндричної поверхні вм'ятин для дроту з вуглецевої сталі
R_k	розмах коливань
r_i	коефіцієнт асиметричності
$R_н^н$	границя текучості арматурної сталі
$R_к$	розрахунковий опір матеріалу анкера у вигляді коротуна
R'_n	розрахунковий опір матеріалу петлі
$R_{s,\ ser}$	розрахунковий опір розтягу арматури для граничних станів другої групи
R_s, R'_s	розрахункові опори розтягненню арматури для граничного стану першої групи, відповідно для двох варіантів армування: що приймається на час дефіциту певного виду арматурної сталі і передбаченого проектною документацією
R	розмах значень границі міцності
R_a	нормативне навантаження на стержень

S, S_1, S_2	відстань між стержнями (в осях), крок поздовжніх і поперечних стержнів сіток і каркасів
S	номінальний крок вм'ятин низьколегованого дроту; довжина хвилі фібри
$\Sigma S_q, \Sigma S_n$	сумарні площі поперечного перерізу ненапружуваної арматури виробу відповідно для двох варіантів армування: що приймається при тимчасовому заміненні і передбаченого проектною документацією
S_q, S_n	площі поперечного перерізу ненапружуваної арматури відповідно для двох варіантів армування: що приймається при тимчасовому заміненні і передбаченого проектною документацією
t, t_{min}, t_{max}	крок поперечних виступів; мінімальне і максимальне значення кроку поперечних виступів арматури періодичного профілю
α	кути загину сітки; кут відгину кінця фібри; висота зварного шва; коефіцієнт неоднорідності матеріалу; номінальний розмір (діаметр) дроту з низьколегованої сталі
$\alpha, \alpha_1, \alpha_2$	розміри випусків поздовжніх і поперечних стержнів сітки; номінальний розмір (діаметр) дроту з низьколегованої сталі (a) і розмір в перпендикулярному напрямі (a_1)
β	кут нахилу поперечних виступів до поздовжньої осі стержня
$\delta_5, \delta_{10}, \delta_{100}$	відносне видовження після розриву
δ_p	відносне рівномірне видовження
δ_n (A_{gt})	відносне подовження перед розривом
δ_{max}	повне відносне подовження при максимальному навантаженні
ε_s	поточна відносна деформація
$\varepsilon_{s,\,pl}$	умовно-миттева пластична деформація
$\varepsilon_{s,\,el}$	пружна деформація
η_1	параметр пружності (границя пружності), що характеризує відношення $\sigma_{el}/\sigma_т(\sigma_{0,2})$
λ_R	динамічний коефіцієнт
π	постійна величина, $\pi = 3{,}14$;
ρ	густина сталі, 7850 г/мм^3
σ	напруження; тимчасовий опір розриванню

σ_{el}	границя пружності (розрахункова)
$\sigma_{0,01}$, $\sigma_{0,02}$, $\sigma_{0,05}$	умовна границя пружності
$\sigma_{т}$	фізична границя текучості
$\sigma_{0,2}$	умовна границя текучості
$\sigma_{в}$	тимчасовий опір
σ_{s}	поточне напруження
σ_{rel}	релаксація напружень
σ_{sp}	попереднє напруження в напружуваній арматурі до обтиснення бетону
σ_{ω}	границя втомленості
σ_1, σ_2, σ_3	границя міцності стержнів, по осі яких діяло руйнівне навантаження
σ_{max}, σ_{min}	відповідно максимальне і мінімальне значення границі міцності з числа σ_1, σ_2, σ_3
$\bar{\sigma}$	середнє арифметичне значення границі міцності
$\Delta\sigma$	втрати попереднього напруження в арматурі
ω_S	циклічна частота коливання
Δ	зменшення вихідного діаметра одного з стержнів, що зварюються, в місці розриву

РОЗДІЛ 1

ПРИЗНАЧЕННЯ АРМАТУРИ В ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЯХ

1.1. Сталева арматура для залізобетонних конструкцій

Бетон і залізобетон є прогресивним видом будівельних матеріалів, що безперервно розвивається [57, 65].

Вирішальною передумовою широкого застосування бетону в усіх галузях будівництва є практично невичерпні природні запаси і перспективні родовища мінеральної сировини для виготовлення в'яжучих матеріалів і заповнювачів.

Бетон являє собою крихкий анізотропний матеріал, що має високу міцність при стисканні і низьку – при розтягуванні, і в чистому вигляді може застосовуватися для виготовлення різних конструкцій, які працюють тільки на стискання. Для конструкцій, які зазнають дії згинальних напружень або розтягування, бетон потрібно армувати в розтягнутих зонах; у деяких випадках, коли габарити залізобетонних конструкцій обмежуються якимись умовами і міцності бетону недостатньо для сприймання діючих зусиль, арматуру розміщують у стиснутій зоні.

Армований бетон називають залізобетоном, його можна застосовувати для виготовлення різноманітних несучих конструкцій незалежно від особливостей їх механічного навантаження. Залізобетон – це універсальний і ефективний композитний матеріал.

Арматура (від лат. *armatura* – озброєння) в залізобетонних конструкціях – це елементи з більш міцного матеріалу (сталі), вміщені в товщу матеріалу з меншою міцністю (бетону), для його підсилення.

Арматура залізобетонного виробу – невід'ємна складова частина конструкції, що являє собою елемент підсилення, виготовлений із сталі або іншого матеріалу [34].

Арматура повинна працювати сумісно з бетоном на всіх стадіях виготовлення і експлуатації залізобетонних конструкцій і задовольняти наступним вимогам [52]:

– бути технологічною у виробництві і використанні;

– мати необхідні міцносні властивості і пластичність при короткотривалій і тривалій дії навантажень і т. ін.;

– мати необхідне зчеплення з бетоном за рахунок відповідного періодичного профілю чи спеціальних анкерів.

При виготовленні залізобетонних конструкцій застосовують такі види армування:

– ненапруженою арматурою – каркасами, сітками, окремими стержнями;

– напруженими арматурними елементами – окремими стержнями, пучками, пакетами з високоміцного дроту, безперервним намотуванням дроту;

– дисперсне армування металевими та неметалевими волокнами у вигляді коротких відрізків чи безперервних ниток, рівномірно розподілених по перерізу виробів;

– зовнішнє армування листовою і профільованою сталлю.

Здебільшого в залізобетонних конструкціях роль арматури виконують сталеві стержні.

Для розміщення арматурних стержнів у товщі бетону їх об'єднують іншими сталевими стержнями в плоскі та об'ємні елементи у вигляді сіток, каркасів і пучків. Крім того, в виріб установлюють арматурні елементи, спеціально призначені для транспортування та складання конструкцій.

Арматуру залізобетонного виробу за призначенням поділяють на:

– *робочу*, що призначається за розрахунком і сприймає розтягувальні або стискальні зусилля, які виникають від зовнішніх навантажень та впливів, а також власної маси виробу;

– *розподільчу* або *конструктивну*, що закріплює робочі арматурні стержні в каркасі у проектному положенні зварюванням або в'язальним дротом і яка забезпечує спільну їх роботу та сприяє більш рівномірному розподіленню навантажень;

– *монтажну*, яка підтримує під час виготовлення зварюванням чи в'язанням каркасів або сіток окремі стержні робочої арматури та сприяє фіксації їх у проектному положенні [18, 34, 81].

Поряд з цим, існує більш детальний поділ арматурних елементів за призначенням у залізобетонних конструкціях [85]:

– *робоча арматура* – основний елемент виробу, який сприймає розтягуючі, стискаючі або зрізуючі зусилля, що виникають у залізобетонних конструкціях від дії зовнішніх навантажень;

– *розподільча арматура* – допоміжний елемент, який дає змогу розподіляти зусилля між стержнями робочої арматури;

– *конструктивна арматура* являє собою елемент, який вводять в конструкцію для збереження її цілісності в процесі формування, транспортування та монтажу;

– *монтажна арматура* забезпечує орієнтацію робочих стержнів у тілі бетонної конструкції. До монтажної арматури належать пристосування, призначені для захвату залізобетонних конструкцій стропами під час транспортування (монтажні петлі, кільця тощо);

– *закладні деталі* – арматурні елементи, які забезпечують з'єднання (стикування) залізобетонних конструкцій підчас їх монтажу.

Останнім часом у нас в країні і за кордоном ведуться теоретичні та експериментальні дослідження щодо армування бетонних виробів полімерними матеріалами та іншими замінниками сталевої арматури. Але, оскільки проблеми, пов'язані із застосуванням цих матеріалів для армування бетонних конструкцій не досить розв'язані, широкого практичного використання у виробництві армованого бетону вони ще не мають (розділ 9).

1.2. Робота арматури в залізобетонних конструкціях

В залізобетоні вигідно поєднується робота бетону і сталі. Міцність бетону на розтягування приблизно в 10–15 раз менша його міцності на стискання. В результаті такої різниці механічних властивостей бетон в чистому вигляді невигідно використовувати для виготовлення конструкцій, в яких під навантаженням виникають розтягуючі напруження. Така конструкція буде мати дуже велику вагу. Сталь, що має високу міцність на розтягування, при навантаженні залізобетонного елемента, сприймає на себе розтягуючі напруження.

Доцільно використовувати залізобетон для будівельних елементів, які працюють на згинання. При сумісній роботі таких елементів виникають два протилежні напруження – розтягуючі і стискаючі. Сталь добре сприймає розтягуючі напруження, а бетон – стискаючі, й залізобетонний елемент в цілому успішно протидіє вигинаючим навантаженням та стисканню.

Розглянемо роботу бетонної балки, яка лежить на двох опорах і сприймає вигинаючі навантаження (рис. 1.1).

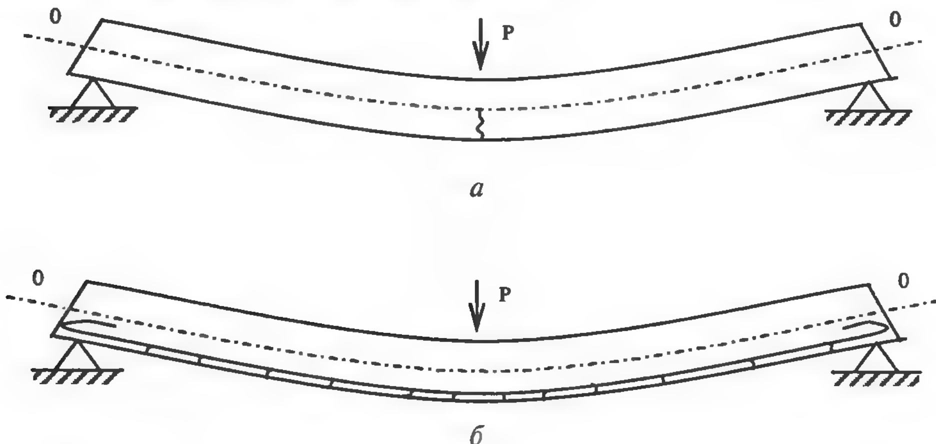


Рис. 1.1. **Схема вигинання балки, яка лежить на двох опорах:**
а – бетонна; *б* – залізобетонна

Верхня зона балки, що знаходиться вище нейтрального шару 0-0 стиснена, а нижня зона розтягнута. Якщо матеріал, з якого виготовлений такий елемент, має рівну міцність на стискання і розтягування, то верхня і нижня зони балки зруйнуються при рівних напруженнях [12, 18].

Через те, що міцність бетону при розтягуванні значно менша міцності при стисканні, руйнування нижньої розтягненої зони балки (утворення тріщин) відбудеться значно раніше руйнування верхньої стисненої зони. Спочатку в нижній зоні утворюються найдрібніші тріщини, які прогресують далі під дією того ж навантаження.

В результаті появи тріщин в розтягненій зоні робочий переріз балки зменшиться, нейтральна вісь 0-0 зміститься в бік стисненої зони, і балка зруйнується. Частина бетону, яка знаходяться вище нейтрального шару, могла б витримати значно більші стискаючі напруження, якщо б тріщини в розтягненій зоні не прогресували.

Якщо ж в нижній розтягненій зоні бетонної балки розмістити сталеві стержні (рис. 1.1 *б*), то розтягуючі напруження, які виникають при вигинанні балки, будуть сприйняті цими стержнями, а бетон сприйматиме напруження стискання в верхній зоні.

Внаслідок зчеплення бетону зі сталевою арматурою обидва матеріали працюють разом.

В залежності від способу армування і стану арматури, розрізняють залізобетонні конструкції зі звичайною і попередньо напруженою арматурою. До першого виду залізобетонних виробів відноситься, наприклад, балка, що розглядалась вище. Але звичайний спосіб армування не уберігає розтягнену зону балки від утворення тріщин, так як бетон може розтягуватись тільки на 1–2 мм на 1 м, тоді як сталь при таки самих навантаженнях розтягується в 5–6 разів більше бетону.

Через появу тріщин збільшується прогин залізобетонного елементу, а в тріщини проникають волога і гази, створюючи небезпеку корозії сталевої арматури.

Уникнути утворення тріщин в бетоні при експлуатаційних навантаженнях можна попереднім стисканням бетону, в місцях, які підлягають розтягуванню Тобто, найбільш ефективним заходом, що забезпечує використання сталі підвищеної міцності в бетоні розтягненої зони залізобетонних конструкцій без зниження їх експлуатаційних якостей, є попереднє напруження шляхом штучного натягу арматури і обтиснення бетону. В стисненому бетоні тріщини з'являються тільки в тому випадку, якщо розтягуючі напруження будуть більшими ніж напруження попереднього стискання.

Попереднє напруження арматури, що в стадії експлуатації розташована в розтягненій зоні залізобетонних елементів, підвищує не тільки їх жорсткість і тріщиностійкість, але й міцність, за рахунок ефекту зміцнення структурно стійких арматурних сталей. Попереднє напруження діє як

механічне зміцнення, підвищуючи границі пружності і текучості сталі, і це, в свою чергу, призводить до підвищення міцності попередньо напружених елементів, що вигинаються.

Вплив ефектів попереднього напруження арматури на несучу здатність попередньо напружених залізобетонних конструкцій залежить від багатьох факторів, до найважливіших з яких відносять конструктивні особливості, ступінь армування, категорію тріщиностійкості і вимоги до експлуатаційних якостей, міцності і деформативності бетону і т. д.

Напружувана арматура, як правило, виконує дві основні функції: є носієм зовнішньої сили обтискання перерізу і працює сумісно з бетоном як звичайна арматура, яка сприймає додаткові до попереднього напруження зусилля розтягу чи стиску, що виникають в залізобетонному елементі від дії зовнішнього навантаження [18, 32, 58].

Підвищення тріщиностійкості і жорсткості попередньо напружуваних залізобетонних конструкцій проілюстровано схемою роботи центрально розтягнених звичайних і попередньо напружених залізобетонних елементів (рис. 1.2). Зі схеми видно, що якщо зовнішнє навантаження не перевищує зусилля обтиснення бетону, то в попередньо напруженому елементі не з'являються тріщини, якщо ж зовнішнє навантаження пере-

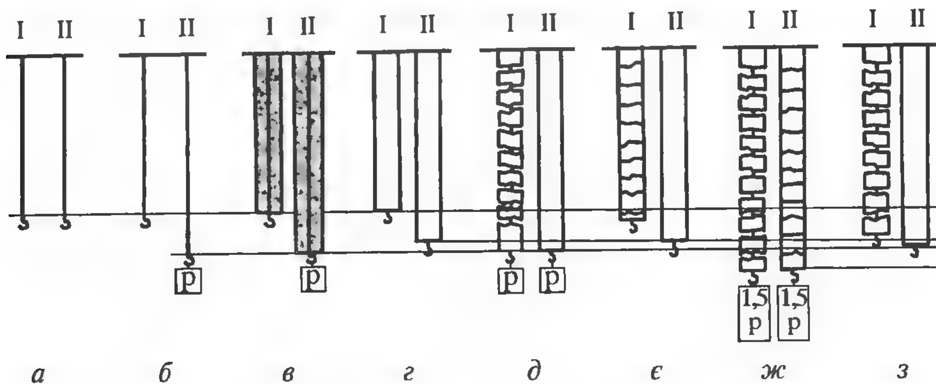


Рис. 1.2. **Схема роботи центрально розтягнутих звичайних і попередньо напружених залізобетонних елементів:**

а – початкове положення ненапружуваного і напружуваного арматурних стержнів звичайного і попередньо напруженого залізобетонних елементів; *б* – теж саме, після натягання напружуваного стержня; *в* – теж саме, під час формування елементів, *г* – положення звичайного і попередньо напружуваного залізобетонних елементів після відпуску натягу напружуваного стержня; *д* – розтяг елементів навантаженням Р; *є* – положення елементів після зняття навантаження; *ж* – розтяг елементів навантаженням 1,5 Р; *з* – положення після зняття навантаження;

I – ненапружуваний арматурний стержень чи звичайний залізобетонний елемент; II – напружуваний арматурний стержень чи попередньо напружений елемент

вищує зусилля обтискання, то тріщини з'являються, але після зняття навантаження знову закриваються. В звичайному залізобетонному елементі тріщини з'являються раніше, вони розкриваються ширше і не закриваються після зняття зовнішнього навантаження.

Попередньо напружені залізобетонні конструкції відрізняються від звичайних наступними перевагами [91, 114]:

– суттєвим зниженням витрат сталі; при стержньовому армуванні витрата сталі скорочується в середньому на 30%, а при армуванні високоміцним дротом, жмутами і канатами – в середньому на 45%;

– більш високим опором утворенню і розкриттю тріщин, що особливо важливо для запобігання корозії конструкцій, що працюють в агресивних середовищах, а також конструкцій, до яких висуваються підвищені вимоги за непроникливістю (напірні труби, резервуари і ємкості для зберігання рідин і газів);

– підвищенням жорсткості чи зменшенням прогину;

– зниженням витрати бетону і маси конструкцій завдяки використанню бетону високих класів, зменшенню розмірів поперечних перерізів елементів і раціональному їх використанню.

1.3. Умови сумісної роботи арматури і бетону

Ідея створення і застосування залізобетону ґрунтуються на таких факторах:

– надійна захисна властивість бетону по відношенню до арматури через високу лужність порової рідини бетону, що захищає її від корозії і забезпечує довговічність залізобетонних конструкцій;

– близькі значення величин коефіцієнтів температурного розширення бетону (7 – 10) $\cdot 10^{-6}K^{-1}$ і арматурних сталей (12 – 13) $\cdot 10^{-6}K^{-1}$, тобто при зміні температури внутрішнє напруження в зоні контакту мінімальне;

– висока міцність зчеплення бетону зі сталевою арматурою, що дозволяє раціонально розподілити навантаження між цими матеріалами.

Зчеплення забезпечує розподіл зусиль між арматурою і бетоном до руйнування конструкції і залежить від:

– характеристик арматурної сталі (стану поверхні, профілю, діаметра і механічних властивостей);

– характеристик бетону (міцності, віку, складу, властивостей цементу і заповнювачів);

– способу укладання і ущільнення бетону і умови тверднення;

– напруженого стану залізобетонних елементів, що викликає передавання і розподіл зусиль між арматурою і бетоном.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Розкрийте поняття «арматура» і «арматура залізобетонного виробу».
2. Назвіть види армування залізобетонних конструкцій і виробів.
3. Як поділяють арматуру залізобетонного виробу за її призначенням?
4. Сумісна робота бетону і арматури в ненапружених конструкціях.
5. Особливості сумісної роботи бетону і арматури в попередньо напружених конструкціях. Переваги попередньо напружених конструкцій в порівнянні зі звичайними.
6. Назвіть умови сумісної роботи арматури і бетону.

РОЗДІЛ 2

КЛАСИФІКАЦІЯ І ХАРАКТЕРИСТИКА АРМАТУРНИХ СТАЛЕЙ

2.1. Залежність характеристик арматурних сталей від технології їх виготовлення

Арматуру виготовляють зі сталі різних видів і марок. Сталь являє собою сплав заліза з вуглецем, в якому присутні незначні добавки марганцю, силіцію, сірки і фосфору. Основну частину в чавуні і сталі складає залізо, вміст вуглецю і інших елементів в сплаві відносно незначний. На відміну від чавуну, сталлю називають такий залізовуглецевий сплав, в якому вуглецю не більше 2%.

Виробництво будь-якого виду арматурної сталі починається з виготовлення гарячекатаної сталі, властивості якої визначаються її хімічним складом, способом виплавляння, розкислення, технологією прокатування і умовами охолодження [29, 47, 79, 104].

Виплавляння сталі на металургійних заводах здійснюється в печах трьох типів: мартенівських, конверторних і електросталеплавильних. Найбільш продуктивною технологією є виплавляння сталі в киснево-конверторних печах. Конверторна сталь характеризується низьким вмістом фосфору, сірки і азоту. Її міцносні характеристики не поступаються властивостям мартенівської сталі, а пластичні – перевищують їх [47]. В той же час, ця технологія має ряд обмежень за сортаментом сталі, що випускається, і умовами виробництва. Тому на малих металургійних підприємствах, а також там, де необхідно забезпечити виготовлення широкої номенклатури сталей, використовують електросталеплавильні і мартенівські печі.

Після виплавляння сталь розливають в чавунні форми-«ізложниці». В залежності від об'єму ізложниць маса злитку, що отримують, коливається від 250 кг до 7–8 т.

При стиканні зі стінками і дном ізложниці рідка сталь починає тверднути в напрямку від поверхні злитку до його серцевини, причому зона рідкого металу поступово витісняється до середини і вгору. Разом з нею відтісняються до центру і вгору газові і неметалеві включення.

Структура виплавленого злитку сталі залежить від умов тверднення, які визначаються ступенем її розкислення, що здійснюється шляхом введення в піч чи ківш феромарганцю, феросіліцію, алюмінію чи титану.

За ступенем розкислення вуглецеві арматурні сталі поділяють на киплячі, напівспокійні і спокійні. Розрізняють їх за вмістом кремнію (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Вміст кремнію в сталях різного розкислення

Види сталі за ступенем розкислення	Позначення	Вміст кремнію
кипляча	кп	не більше 0,05%
напівспокійна	пс	0,05–0,15%
спокійна	сп	більше 0,15%

Спокійна сталь твердне при повному розкисленні. Більша частина газоподібних і неметалевих включень, 15–16% ваги злитка, накопичується в головній частині злитка і відрізається перед подальшим прокатуванням (рис. 2.1). Спокійна сталь має найбільш однорідні фізико-механічні властивості і менш схильна до крихкого руйнування.

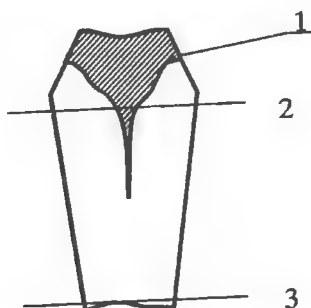


Рис. 2.1. **Переріз злитка спокійної сталі:**
1 – усадна раковина; 2 – рівень верхнього обрізування; 3 – рівень нижнього обрізування

Напівспокійну сталь отримують додаванням такої кількості розкислювачів, при якій кристалізація металу відбувається з утворенням пор по висоті злитка. В результаті головна обрізь злитка менше на 7–10% у порівнянні з спокійною сталлю. Відповідно знижується собівартість прокату.

Кипляча сталь застигає з виділенням газів, що створює видимість кипіння. В цьому випадку газоподібні і неметалеві включення рівномірно розподіляються по злитку і створюють найбільшу неоднорідність властивостей сталі, але головна дефектна його частина, що обрізується після твердnення, складає близько 5–7%. Це дозволяє забезпечити максимальний вихід придатного прокату і мінімальну собівартість.

Механічні властивості при випробуванні на статичне розтягування і згинання напівспокійної і киплячої сталі практично не відрізняються від властивостей спокійної сталі. Але напівспокійна і ще в більшій мірі кипляча сталь схильні до крихкого руйнування при низьких температурах і динамічних навантаженнях.

Для покращення деяких властивостей арматурну сталь легують, тобто додатково вводять легуючі добавки: марганець, кремній, хром, а також мікролегуючі, що вводять в невеликих кількостях: цирконій, титан, ванадій, ніобій, сполуки азоту і т. д., іноді до 5—6 різних матеріалів. Ці елементи забезпечують, поряд з високою міцністю, також поліпшення зварюваності, морозостійкості і пластичності.

Леговані сталі за сумарною кількістю легуючих добавок, що вміщуються в них, поділяють на 3 групи: низьколегована (до 2,5%), середньолегована (від 2,5 до 10%), високолегована (більше 10%).

Більшість легованих сталей набувають необхідних фізико-механічних властивостей тільки після термічної обробки.

Зараз для виготовлення арматури залізобетонних конструкцій використовують низько-, середньо- і високовуглецеві й низьколеговані сталі.

Вміст різних елементів в сталі (її хімічний склад) позначається в марках. Марки вуглецевих сталей звичайної якості і їх хімічний склад за ковшовою пробою, згідно ДСТУ 2651 [35], наведено в табл. 2.2, а марки і хімічний склад основних видів низьколегованих арматурних сталей наведено в табл. 2.3 [52].

Таблиця 2.2

Хімічний склад вуглецевих арматурних сталей

Марка сталі	Вміст хімічних елементів, %				
	C	Mn	Si	S	P
				не більше	
1	2	3	4	5	6
Ст0	не більш 0,23	–	–	0,06	0,07
Ст1кп	0,06–0,12	0,25–0,50	не більше 0,05	0,05	0,04
Ст1пс	0,06–0,12	0,25–0,50	0,05–0,15	Те саме	Те саме
Ст1сп	0,06–0,12	0,25–0,50	0,15–0,30	–"–	–"–
Ст2кп	0,09–0,15	0,25–0,50	не більше 0,05	–"–	–"–
Ст2пс	0,09–0,15	0,25–0,50	0,05–0,15	–"–	–"–
Ст2сп	0,09–0,15	0,25–0,50	0,15–0,30	–"–	–"–
Ст3кп	0,14–0,22	0,30–0,60	не більше 0,05	–"–	–"–
Ст3пс	0,14–0,22	0,40–0,65	0,05–0,15	–"–	–"–

Закінчення таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
Ст3сп	0,14–0,22	0,40–0,65	0,15–0,30	–"–	–"–
Ст3Гпс	0,14–0,22	0,80–1,10	не більше 0,15	–"–	–"–
Ст3Гсп	0,14–0,20	0,80–1,10	0,15–0,30	–"–	–"–
Ст4кп	0,18–0,27	0,40–0,70	не більше 0,05	–"–	–"–
Ст4пс	0,18–0,27	0,40–0,70	0,05–0,15	–"–	–"–
Ст4сп	0,18–0,27	0,40–0,70	0,15–0,30	–"–	–"–
Ст5пс	0,28–0,37	0,50–0,80	0,05–0.15	–"–	–"–
Ст5сп	0,28–0,37	0,50–0,80	0,15–0,30	–"–	–"–
Ст5Гсп	0,22–0,30	0,80–1,20	не більше 0,15	–"–	–"–
Ст6пс	0,38–0,49	0,50–0,80	0,05–0,15	–"–	–"–
Ст6сп	0,38–0,49	0,50–0,80	0,15–0,30	–"–	–"–

Примітка. Масова частка хрому, нікелю та міді в сталі повинна бути не більше 0,30% кожного.

Таблиця 2.3

Хімічний склад низьколегованих арматурних сталей

Марки сталі	Вміст хімічних елементів, %									
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Cu	Ti (Zr)	Al
				не більше						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10ГТ	не більше 0,13	1,0–1,4	0,45–0,65	0,30	–	0,04	0,03	0,30	0,015–0,035	0,02–0,05
18Г2С	0,14–0,23	1,2–1,6	0,60–0,90	0,30	0,30	0,045	0,04	0,30	–	–
25Г2С	0,20–0,29	1,2–1,6	0,60–0,90	0,30	0,30	0,045	0,04	0,30	–	–
35ГС	0,30–0,37	0,80–1,2	0,60–0,90	0,30	0,30	0,045	0,04	0,30	–	–
27ГС	0,24–0,30	0,9–1,3	1,0–1,5	0,30	0,30	0,045	0,04	0,30	–	–
28С	0,25–0,32	0,65–0,95	0,65–1,25	0,30	0,30	0,045	0,04	0,30	–	–
32Г2Рпс	0,28–0,37	1,3–1,75	не більше 0,17	0,30	0,30	0,05	0,04	0,30	–	0,001–0,015

Примітка. Допускається добавка титану в сталь марок 18Г2С, 25Г2С і 35ГС з розрахунку його вмісту в готовому прокаті 0,01–0,03%.

В стандартних позначеннях марок сталей: літери «Ст» визначають «Сталь», цифри – умовний номер марки в залежності від хімічного складу, літери «кп», «пс», «сп» – ступінь розкислення; в низькомодульних сталях перша цифра – вміст вуглецю в сотих долях відсотків, літери – позначення хімічних елементів (Г – марганець, С – кремній, Т – титан, Х – хром, Ц – цирконій, Р – бор, Ю – алюміній, А – азот), цифри після літер – вміст елемента в %, відсутність цифр після відповідної літери вказує, що вміст елемента не більше 1%.

Наприклад, марка арматурної сталі 35ГС означає, що середній вміст в ній вуглецю складає 0,35%, а марганцю і кремнію не більше ніж 1%. Марка арматурної сталі 20ХГ2Ц означає, що вміст вуглецю складає 0,2%, хрому не більше 1%, марганцю не більше 2% і цирконію не більше 1%.

За основним способом виробництва, арматурну сталь поділяють на:

– гарячекатану;

– зміцнену витягуванням чи скручуванням;

– термомеханічно зміцнену при прокатуванні з використанням тепла прокатного нагрівання;

– термічно зміцнену шляхом загартування – спеціального нагрівання і наступного відпуску;

– холоднотягнуту і холоднокатану звичайної якості;

– патентований холоднотягнутий (або холоднокатаний) і відпущений або стабілізований дріт і арматурні канати з нього.

У відповідності з міжнародною термінологією [112] напружувана стержньова арматурна сталь за основним способом виробництва поділяється на:

– гарячекатану (та, що самозміцнюється);

– гарячекатану зміцнену витягуванням;

– термомеханічно зміцнену в потоці прокатування;

– термічно зміцнену шляхом загартування і відпуску після спеціального нагрівання.

Гарячекатана, а також зміцнена витягуванням високоміцна стержньова арматура, як правило, після прокатування чи після зміцнення витягуванням піддається низькотемпературному відпуску (НТВ) при температурі 250–400°С.

Практично вся високоміцна напружувана арматура в процесі виготовлення піддається термічній обробці. При цьому слід розрізняти термообробку зміцнюючу, яка призводить до утворення структури загартування, і виконується при нагріванні до температури вище 800°С та термообробку, яка здійснюється для зняття внутрішніх напружень чи штучного старіння сталі і відбувається, як правило при температурах 250–500°С. Перший вид термообробки прийнято називати загартуванням, другий – відпуском.

В різних країнах використовують для виготовлення високоміцної арматурної сталі такі види термообробки:

– *патентування* – термообробка, яка складається з нагрівання сталі до температури 860–970°С з наступним спеціальним охолодженням, для отримання структури сталі, що підходить до наступного холодного волочіння [52], і використовується для виробництва холоднотягнутого дроту класів B-II, Bp-II;

– *загартування і відпуск* – термообробка, яка складається з нагрівання сталі до температури не менше 800°С, швидкого охолодження (загартування в оливі чи воді) і наступного відпуску при температурі 400–450°С. Це кінцева термообробка, яка забезпечує необхідні властивості сталі. Прикладом використання такої термообробки є технологія виробництва термічно зміцненої арматурної сталі в Японії. В нашій країні подібним чином виконують термозміцнення арматурної сталі на установках ЕТУ [29];

– *термомеханічне зміцнення* – швидке і рівномірне охолодження сталі, що деформована в гарячому стані, від температури не менше 800°С до температури відпуску. Це кінцева термообробка, що забезпечує необхідні властивості матеріалу і здійснюється безпосередньо після виходу прутка арматурної сталі з останньої кліті прокатувального стану [47, 108]. На швидкості прокатування 6–20 м/хв пруток арматурної сталі потрапляє в охолоджуючий пристрій, який виконано у вигляді форсунок, куди подають воду під тиском до 1,8–2,0 МПа.

Процес термомеханічного зміцнення складається з чотирьох стадій охолодження [47, 137] і ілюструється рис. 2.3.

В результаті отримують композитну структуру перерізу з високоміцним високовідпущеним мартенситом чи бейнітом в поверхневих шарах і менш міцної феритно-перлітною структурою в серцевині. При цьому спостерігається ефект високотемпературної термомеханічної обробки (ВТМО), суть якого в тому, що механічне зміцнення сталі і її поздовжньо-орієнтована структура, яка створюється в останній кліті прокатного стану, фіксується наступним за гарячим прокатуванням, охолодженням і зберігається після повного остигання сталі [82]. Завдяки цьому досягаються принципово нові властивості сталі, тобто підвищується міцність, покращується зварюваність, стійкість проти ударних навантажень і дії низьких температур.

Цей вид зміцнення в нашій країні використовують [47, 52, 79] для виробництва арматурної сталі підвищеної і високої міцності класів (А400С – Ат1200) з границею текучості від 400 до 1200 МПа;

– *низькотемпературний відпуск* – термообробка, яка використовується при виготовленні високоміцного дроту, арматурних канатів і

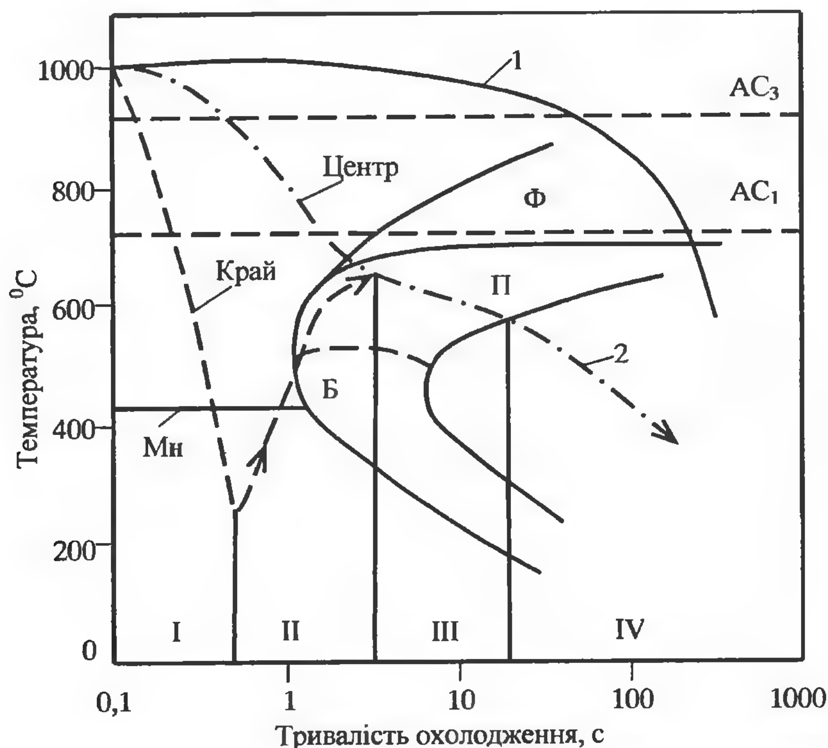


Рис. 2.3. **Схематичне зображення процесу термомеханічного зміцнення на термокінетичній діаграмі:**

1 – гарячекатаний стан; 2 – термозміцнений стан;
I – перша стадія (швидке охолодження водою; загартування поверхневого шару); II – друга стадія (охолодження на повітрі; відпуск поверхневого шару); III – третя стадія (охолодження в холодильнику; квазіізотермічне перетворення центральних зон прутка); IV – четверта стадія (охолодження прутка в холодильнику до оточуючої температури після завершення структурних перетворювань)
АС – аустеніт, Ф – ферит, П – перліт, Б – бейніт, Мн – мартенсит

стержнів гарячекатаної сталі класів А800 і А1000 (А-V і А-VI), що складається з нагрівання сталі до температур 250–500°С з наступним охолодженням на повітрі. Виконується для зменшення внутрішніх напружень, які виникають в сталі внаслідок деформаційного зміцнення і попередньої обробки, а також для прискорення видалення водню. Призводить до підвищення умовних границь пружності і текучості, а також пластичності і міцності при навантаженнях, що багатократно повторюються. Використовується також після механічного зміцнення стержньової сталі витягуванням чи скручуванням;

— *механо-термічна обробка (стабілізація)* — низькотемпературний відпуск, суміщений з пластичним деформуванням. Використовується для підвищення релаксаційної стійкості сталі, а також умовних границь пружності і текучості;

— *волочіння в холодному стані* — механічне зміцнення шляхом зменшення площі перерізу сталевого прутка за рахунок прикладання зусилля розтягування. Для цього дріт протягується крізь філь'єр, який виготовляють з карбіду вольфраму. Ця операція є невід'ємною частиною технології виробництва високоміцного дроту класів ВрІІ і ВІІ;

— *витягування в холодному стані (зміцнення витягуванням)* — механічне зміцнення шляхом холодного деформування сталі в напрямку осі стержня періодичного профілю чи гладкого. Вітчизняна металургійна промисловість не використовує цей вид зміцнення через його високу трудомісткість. В будівництві його використовують для отримання сталі класу А-ІІІв (А550в). За кордоном досить поширене виробництво витягуванням сталевих стержнів діаметром до 40 мм з границею текучості 850–1000 МПа;

— *скручування в холодному стані* — механічне зміцнення шляхом скручування стержнів відносно їх власної осі для забезпечення заданої деформації. Цей спосіб зміцнення дозволяє сформувати необхідний для зчеплення періодичний профіль в процесі скручування. В вітчизняній практиці для виробництва арматурної сталі не використовується. За кордоном в більшості економічно розвинених країн використовується для виробництва арматури з границею текучості 400–550 МПа. Цей спосіб, як і зміцнення витягуванням, дозволяє суттєво збільшити границі пружності сталі без її додаткового легування.

За структурою арматурні сталі розрізняються між собою вмістом вуглецю та методами обробки. Структура гарячекатаної сталі змінюється від ферито-перлітної і бейнітної, з вмістом вуглецю (С) – 0,2–0,3%, до перлітної (С – 0,45–0,8%). Підвищення вмісту вуглецю зменшує крупність зерен.

Холодна обробка арматурної сталі витягуванням і прокатуванням створює волокнисту структуру, а термічна обробка (загартування в воді з низькотемпературним відпуском) спричиняє утворення дрібнодисперсної структури троститу і мартенситу.

2.2. Класифікація арматурних сталей і термінологія

Сталь поділяють на три групи в залежності від вмісту вуглецю (С): низько вуглецева – С < 0,24%; середньо вуглецева – С від 0,25 до 0,6%; високо вуглецева – С від 0,6 до 2%. Кількість вуглецю в сталі суттєво впливає на її властивості. Із збільшенням вмісту вуглецю міцність і твердість сталі різко збільшується, але вона стає більш крихкою і погіршується її зварюваність [51].

Вуглецеві сталі залежно від вмісту шкідливих домішок сірки (S) та фосфору (P) поділяють на три групи: звичайної якості – S ≤ 0,05%, P ≤ 0,04%; якісні – S ≤ 0,04%, P ≤ 0,035...0,04%; високоякісні – S ≤ 0,02%, P ≤ 0,03%.

В свою чергу, сталі звичайної якості поділяють на такі групи: А – з нормованим хімічним складом; Б – з нормованими механічними властивостями; В – з нормованими механічними властивостями та хімічним складом.

Сталь кожної групи додатково поділяють на категорії залежно від нормованих показників. Сталь групи А має три категорії, групи Б – дві, групи В – шість [46].

В залежності від механічних властивостей, основного способу виробництва і умов поставки арматурний прокат в нашій країні позначають:

А – стержньовий прокат і прокат в мотках гарячекатаний, термомеханічно і термічнозміцнений;

В – прокат, зміцнений шляхом деформації в холодному стані (дріт);

К – високоміцні арматурні канати.

Позначення класів міцності арматури залізобетонних конструкцій у відповідності з системою ISO и EN прийняті виходячи з її міцносних властивостей, зокрема, фізичної чи умовної границі текучості. Згідно з українськими стандартами, арматурний прокат поділяють на класи від А240 до А1200, які позначаються за границею текучості (умовної чи фізичної).

Прийняті позначення класів доповнюють індексами для зазначення способу виготовлення, особливих властивостей чи призначення арматури. Так, термомеханічно і термічно оброблену стержньову арматурну сталь (за ГОСТ 10884) позначають символом Ат, сталь спеціального призначення (північне виконання) – Ас, якщо гарячекатану арматурну сталь зміцнюють витягуванням то до позначення в кінці додають літеру «в» – А-IIIв, зварювану арматурну сталь позначають індексом – С, сталь стійку проти корозійного розтріскування під напругою позначають індексом – К.

Раніше діяла інша система класів і позначень арматурної сталі. Перехід від старих до нових позначень класів арматурної сталі наведено в табл. 2.4.

В інших країнах використовують свої позначення чи відокремлюють вимоги до сталі різних видів в окремі стандарти. При цьому обов'язково виділяється клас міцності чи механічні властивості і спосіб виробництва (додаток Б).

В деяких довідниках арматурну сталь поділяли на «м'яку» і «тверду». Але такий поділ не зовсім виправданий, тому що не вдалось встановити чіткі критерії, що відрізняють їх. До «м'яких» сталей відносили ті, які мали площадку текучості (хоча б ледь помітну), потім віднесли всю стержньову арматуру тільки за ознакою гарантії границі текучості (фізичної чи умовної) при постачанні. Таким чином, діаграми деформування «м'якої» і «твердої» сталі могли не відрізнятись [79].

Таблиця 2.4

Позначення арматурної сталі за діючими нормативними та попередніми документами

Позначення за діючими стандартами	Позначення за попередніми стандартами
А240	A-I
А300	A-II
А400	A-III, A-IIIC*
А500	A-IIIC*
А600	A-IV, Aт-IV
А800	A-V, Aт-V
А1000	A-VI, Aт-VI
А1200	Aт-VII

Примітка. 1. За різними джерелами цей клас відносять і до класу А400 і до класу А500.

2. Позначення за діючими стандартами наведені без індексів, більш докладно дивись в розділі 3 і в додатку А.

У відповідності з міжнародними і вітчизняними стандартами арматуру залізобетонних конструкцій за умовами постачання поділяють на:

– бунтову (дріт) гладкого чи періодичного профілю, що поставляється в змотаному стані в бунтах;

– стержньову (пруткову) періодичного або гладкого профілю, що поставляється у вигляді в'язок прямолінійних прутків;

– арматурні канати однократного і багатократного сукання, що поставляються в змотаному стані на котушках, в бунтах чи спеціальних контейнерах;

– готові арматурні елементи у вигляді зварних арматурних сіток, каркасів і т. д.

Арматуру в залежності від виду поверхні поділяють на арматурну сталь періодичного і гладкого профілю.

В залежності від умов використання арматуру поділяють на:

– ненапружувану, призначену для армування звичайних конструкцій і в якості ненапружуваної арматури попередньо напружених конструкцій;

– напружувану, призначену для напруженої арматури залізобетонних конструкцій.

У вітчизняній і міжнародній практиці прийняті такі основні поняття і термінологія для звичайної і напружуваної арматурної сталі [39, 57, 58, 112]:

арматурна сталь – сталь, яка після її прокатування або витягування призначена для армування залізобетонних виробів;

арматурний дріт – арматурна сталь діаметром 3–8 мм, що постачається у бунтах, періодичного профілю або гладка, гарячекатана, термо- або термомеханічно зміцнена, холоднотягнута звичайної якості, підвищеної міцності та високоміцна;

стержньова арматурна сталь – сталеві стержні діаметром 5,5–80 мм, які поставляються у вигляді бухт при діаметрі до 12 мм та у вигляді прутків гладкого профілю з гарячекатаної, термічно або термомеханічно зміцненої сталі;.

стержні (прутки) – арматурна сталь, що поставляється у вигляді прямолінійних прутків періодичного профілю чи гладкого;

арматурна сталь періодичного профілю – прутки з рівномірно змінюваною за довжиною формою поперечного перерізу;

прокат арматурний гладкий – круглі прутки з гладкою поверхнею і сталою по всій довжині формою поперечного перерізу;

арматурні канати однократного сукання – арматурні елементи, що складаються з 2, 3, 7 чи 19 дротинок;

арматурний канат класу К-7 або К-19 – елемент, що складається з одного прямолінійного сталевого високоміцного холоднотягнутого арматурного дроту, навколо якого звиті у один або два ряди спіралі з 6 або 18 високоміцних дротин;

зміцнена витягуванням арматурна сталь – сталь, механічне зміцнення якої здійснюється шляхом холодного витягування у напрямку осі стержня;

термічно зміцнена арматурна сталь – високоміцна сталь, термічна обробка якої складається з нагрівання її до температури 850–950°С, швидкого охолодження водою та наступного відпускання шляхом повторного нагрівання до температури 350–450°С;

термомеханічно зміцнена арматурна сталь – високоміцна сталь, термічна обробка якої проходить у процесі прокатування подальшим інтенсивним загартуванням – швидке і рівномірне охолодження водою до температури 350–450°С – та самовідпуском.

2.3. Основні механічні властивості і реологічні характеристики сталевої арматури

Експлуатаційні властивості арматури залізобетонних конструкцій оцінюються шляхом комплексних досліджень [52]:

– механічних властивостей, що визначаються при осьовому розтягуванні і стисканні;

– динамічної міцності при розтягуванні і міцності при навантаженнях, що багаторазово повторюються;

– тривалої міцністі чи довговічністі, що оцінюють шляхом тривалих випробувань на розтягування, випробувань на стійкість проти корозійного розтріскування і т. д.;

– реологічних властивостей, тобто релаксації напружень чи повзучості;

– схильності до локальної крихкості, що оцінюється шляхом випробувань на ударну в'язкість;

– зварюваності, під якою розуміють не тільки можливість з'єднання арматурної сталі тими чи іншими видами зварювання, але й забезпечення необхідних механічних властивостей і пластичності з'єднань, а також технологічності зварювання, тобто можливості використання стандартного обладнання при виконанні зварних з'єднань і контролю їх якості;

– впливу температури і тривалості нагрівання на механічні властивості і умови їх збереження і підвищення при натягуванні її електротермічним способом;

– можливості створення тимчасових анкерів, необхідної міцності, без суттєвого розміцнення сталі.

Властивості арматурної сталі і арматурних виробів прийнято розділяти на механічні, що залежать тільки від властивостей самого матеріалу і визначаються при випробуванні на розтягування, стискання чи згинання зразка арматури, і технологічні – які визначають додатковими впливами зварювання, згинання і згинання з розгинанням і т. д.

Технологічність [58] тих чи інших видів арматурної сталі визначається властивостями самої сталі, досягнутим рівнем технології підприємств будіндустрії і якістю бетону.

2.3.1. Характеристика механічних властивостей сталевої арматури

Механічні властивості визначають при випробуваннях матеріалів на розтягування, стискання чи згинання.

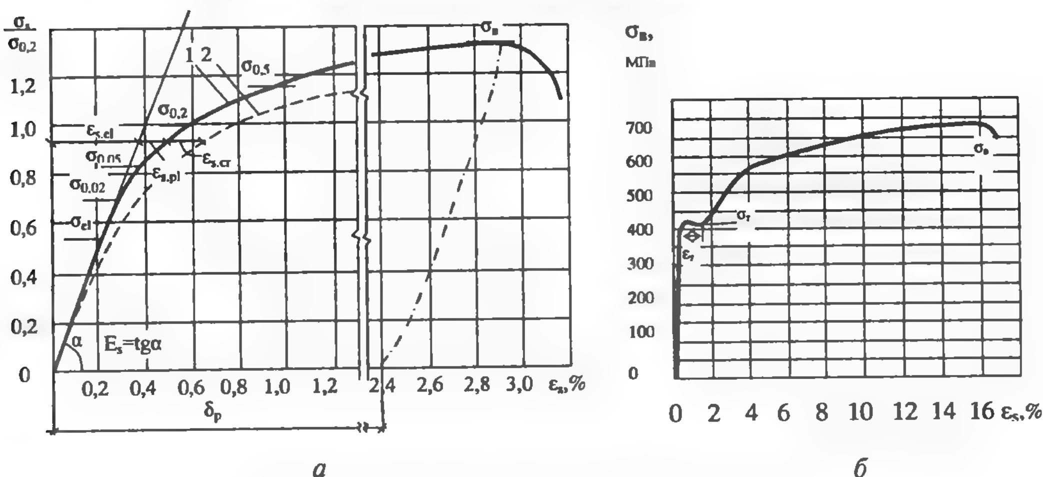
Механічні властивості сталі, що визначають при короткочасному і тривалому випробуванні на розтягування, дозволяють оцінити не тільки міцність, але й пластичність, в'язкість, а також схильність до релаксації напружень і ряд інших показників. Це не виключає інших видів випробувань, таких як випробування на згинання, згинання з розгинанням, ударну в'язкість, визначення проценту в'язкої складової на зламі. Але, ці випробування дають непряму оцінку властивостей сталі і повинні проводитись за спеціально розробленими методами з врахуванням дійсної роботи арматури в залізобетонних конструкціях.

Основними механічними характеристиками арматури є: міцносні (границя текучості і тимчасовий опір), пластичні (відносне подовження при розриві і кут загину в холодному стані), пружно-пластичні (форма діаграми деформацій при напруженнях вище умовної границі текучості).

Механічні властивості арматурної сталі при осьовому розтягуванні характеризуються цілим рядом показників, які наведені нижче.

Границя пружності (розрахункова) – σ_{el}, МПа (Н/мм^2) – напруження, при якому в умовах короткочасного навантаження починається незворотна пластична деформація, не більше 0,0001%.

Умовна границя пружності, МПа (Н/мм^2) – напруження, при якому залишкові деформації зразка вперше досягають величини, яка відповідає певному допуску і може позначатися – $\sigma_{0,01}$, $\sigma_{0,02}$, $\sigma_{0,05}$. Значення допуску встановлюють в межах від 0,005 до 0,1%, в залежності від призначення сталі, її властивостей і точності приладів (рис. 2.4).



а *б*

Рис. 2.4. **Діаграма розтягу арматурної сталі:**
а – високоміцної арматурної сталі; *б* – сталі з площадкою текучості (сталь класу А400 35ГС)
1 – короткочасне навантаження; 2 – тривале навантаження

Фізична границя текучості – $\sigma_т$, МПа (Н/мм^2) – найменше напруження, при якому деформація відбувається без помітного збільшення навантаження, на діаграмі чітко виражена «площадка» текучості.

Умовна границя текучості – $\sigma_{0,2}$, МПа (Н/мм^2) – напруження, при якому залишкова деформація досягає 0,2% або умовна границя пружності з допуском на величину залишкової деформації рівним 0,2%.

Тимчасовий опір – $\sigma_в$, МПа (Н/мм^2) – напруження, яке відповідає найбільшому навантаженню P_{max} перед руйнуванням.

Відносне видовження після розриву – δ_5, δ_{10}, δ_{100}, % – зміна розрахункової довжини зразка в межах якої відбувся розрив, у відсотках від початкової довжини. Для пруткової арматури – визначається на базі 5 і 10 діаметрів і позначається δ_5 і δ_{10}, при випробуванні дротяної арматури – на базі 100 мм – δ_{100}.

Відносне рівномірне видовження – δ_p, % – зміна розрахункової довжини зразка на ділянці довжиною 50 чи 100 мм, без включення місця розриву, в відсотках від початкової довжини.

Відносне подовження перед розривом – δ_n (A_{gt}), % – зміна розрахункової довжини зразка при найбільшому навантаженні – P_{max}.

Початковий модуль пружності – E_s, МПа (Н/мм²) – відношення приросту напруження до відносної деформації, яке визначається при першому навантаженні зразка в інтервалі напруження від $0{,}2\sigma_{el}$ до $0{,}9\sigma_{el}$ або від $0{,}1\sigma_в$ до $0{,}4\sigma_в$.

Модуль деформацій – E, МПа (Н/мм²) – розраховується за формулою (2.1), як відношення приросту напруження до деформації при будь-якому напруженні (σ_s).

$$E = \Delta\sigma_s/\Delta\varepsilon_s,\ \text{МПа}, \qquad (2.1)$$

де σ_s – поточне напруження, МПа , ε_s – поточна відносна деформація, %.

Пружна деформація позначається – $\varepsilon_{s,\,el}$ і розраховується за формулою (2.2):

$$\varepsilon_{s,\,el} = \sigma_{el}/E_s,\ \%, \qquad (2.2)$$

де σ_{el} – границя пружності, МПа, E_s – початковий модуль пружності, МПа.

Умовно-миттева пластична деформація – $\varepsilon_{s,\,pl}$ – пластична деформація, яку отримують при короткочасному випробуванні згідно відповідної методики [73].

Поведінку арматурної сталі в умовах розтягування можна проаналізувати за діаграмою розтягування (стискування). *Діаграма розтягування (стискування)* – крива співвідношення напружень і деформацій, що визначається при короткочасному «умовно – миттєвому» випробуванні на розтягування (стискування) за методикою ГОСТ 12004 (рис. 2.4). По відношенню до сталі використовують два види діаграми розтягування «умовну» і «істину». В першому випадку напруження на всіх стадіях розтягування до розриву визначають виходячи з початкової площі поперечного перерізу, в іншому – підраховують «істині» напруження виходячи з дійсної площі поперечного перерізу зразка, що змінюється в процесі його деформування.

Для арматурної сталі залізобетонних конструкцій, розрахунок напружень яких ведеться виходячи з початкової площі перерізу, а граничні де-

формації арматури в складі залізобетонного елементу, впритул до руйнування, рідко перевищують 1–2%, найбільш доцільно використовувати умовну діаграму розтягування.

Умовна діаграма розтягування (стискування) – це узагальнена характеристика пружно-пластичних властивостей сталі, яка дозволяє проаналізувати поведінку арматурної сталі в умовах розтягування (стискування). Записується в координатах P – Δl чи σ_s – ε_s [32, 47, 58, 98].

Діаграма розтягування змінюється в залежності від послідовності і швидкості прикладання навантаження, тривалості витримування під напругою, температури випробувань і т. д.

В залежності від технології виробництва, умов постачання, міцності і діаметра, арматурна сталь може мати діаграму розтягування з явно вираженою площадкою текучості чи без неї (рис. 2.4, 2.5).

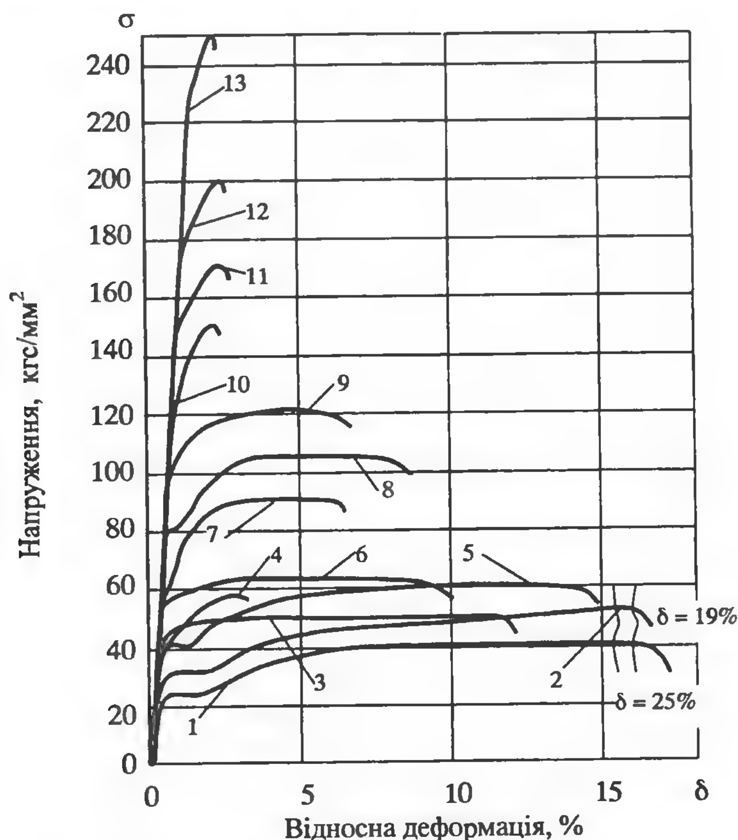


Рис. 2.5. **Діаграма напружень – деформацій арматурної сталі:**
1 – А240С (А-І, Ст3); 2 – А300С (А-ІІ, Ст5); 3 – А300в (А-ІІв (Ст5)); 4 – В-І; 5 – А400 (А-ІІІ, 35ГС); 6 – А550в (А-ІІІв, 25Г2С); 7 – А600 (А-IV, 30ХГ2С); 8 – Ат 800 (Ат-V, Ст5); 9 – Ат1000 (Ат-VI, 35ГС); 10 – Вр-ІІ; 11, 12, 13 – В-ІІ

Як правило, високоміцна напружувана сталь не має площадки текучості і її нормативні і розрахункові характеристики оцінюють за умовною границею текучості $\sigma_{0,2}$ чи $\sigma_{0,1}$.

Така ж діаграма характерна для холоднотягнутого дроту звичайної міцності класу Вр-I (Вр 500) і для гарячекатаної сталі класів А400 (A-III) і А-240 (A-I), що постачаються в бунтах.

Діаграма розтягування високоміцних сталей, що не мають явно вираженої площадки текучості, поділяють на 4 ділянки: від $\sigma_s = 0$ до σ_{el}, від σ_{el} до $\sigma_{0,2}$, від $\sigma_{0,2}$ до $\sigma_{0,5}$ і від $\sigma_{0,5}$ до $\sigma_в$. За опорні точки прийняті достатньо стійкі характеристики, що визначаються при вивченні механічних властивостей $\sigma_{0,1}$, $\sigma_{0,2}$, $\sigma_{0,5}$, $\sigma_в$ і δ_p.

2.3.2. Характеристики реологічних властивостей арматурних сталей

Реологічні властивості – це властивості, які характеризують роботу арматури в часі.

Найважливішими властивостями арматури, що характеризують її роботу в часі, є: релаксація напружень, повзучість, витривалість і внутрішнє тертя.

Релаксація напружень у металах може розвиватись при напруженнях, як до границі текучості матеріалу, так і після. Релаксація (від французького *relaxation*), σ_{rel}, означає розслаблення або послаблення, тому термін релаксація напружень було прийнято для визначення процесу мимовільного затухаючого спаду напруження при незмінній довжині зразка ($\sigma \to 0$, $\varepsilon_0 = \text{const}$). За сучасними уявленнями релаксація напружень – це перехід пружної деформації в пластичну.

Релаксація напружень, як процес спаду напружень в арматурних елементах у часі, спостерігається в попередньо напруженій арматурі під час виготовлення та експлуатації залізобетонних конструкцій [6, 41, 81, 83].

Виготовлення попередньо напружених конструкцій потребує або двостадійного передавання напруження арматури – спочатку на упори (зі сталою зафіксованою довжиною арматурного елемента), а потім на бетон, або – одностадійного передавання напружень – безпосередньо на бетонний виріб. Це створює умови для розвитку процесів релаксації напружень в арматурі.

Протікання процесів релаксації напружень у металах має три виразних періоди, які характеризуються (рис. 2.6, а): I – великою швидкістю і значною величиною спаду напружень; II – різким зниженням швидкості й уповільненням спаду напружень; III – різким збільшенням швидкості.

Перший період нетривалий у часі (10–24 год.), але втрати напружень до початку другого періоду становлять від 50 до 75% загальної величини. Цей період збігається в часі з виготовленням залізобетонних виробів,

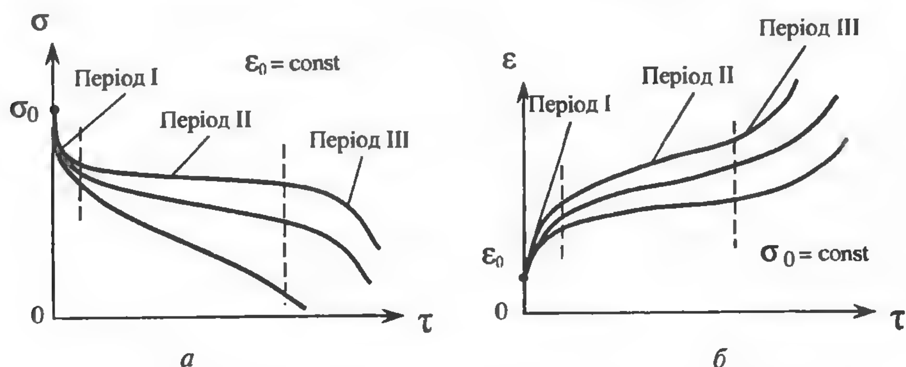


Рис. 2.6. **Реологічні процеси і їх стадії в арматурних сталях:**
а – релаксація напружень; *б* – повзучість

коли на напружену арматуру діють різні фактори. Другий період розвивається тривалий час і показує збільшення втрат напруження в часі і зниження релаксації, яка в кінцевому рахунку прямує до нуля. Третій період розвивається в середовищі температур (650–700°С) і практично при виготовленні та експлуатації залізобетонних конструкцій не спостерігається.

Рекомендують враховувати втрати попереднього напруження в арматурі від релаксації (при температурі не вище 40°С), які підраховують за формулами (2.3)–(2.7), в межах:

– *при механічному способі напруження*

– для високоміцного дроту

$$\Delta\sigma = \left(0{,}22\frac{\Delta\sigma_{sp}}{R_{s,\,ser}} - 0{,}1\right)\sigma_{sp},\ \text{МПа}, \qquad (2.3)$$

– стержньової арматури

$$\Delta\sigma = 0{,}1\sigma_{sp} - 20,\ \text{МПа}, \qquad (2.4)$$

– для гарячекатаної арматурної сталі класу А-IV(А600)

$$\Delta\sigma = 0{,}4\left(0{,}22\frac{\Delta\sigma_{sp}}{R_{s,\,ser}} - 0{,}1\right)\sigma_{sp},\ \text{МПа}, \qquad (2.5)$$

– *при електротермічному і електротермомеханічному способі натягу арматури*

– для високоміцного дроту

$$\Delta\sigma = 0{,}05\sigma_{sp},\ \text{МПа}, \qquad (2.6)$$

– стержньової арматури

$$\Delta\sigma = 0{,}03\sigma_{sp},\ \text{МПа}, \qquad (2.7)$$

де σ_{sp} – попереднє напруження в напружуваній арматурі до обтиснення бетону; $R_{s,\,ser}$ – розрахунковий опір арматури розтягу для граничних станів другої групи.

Повзучість – це повільне наростання в часі пластичної деформації під дією сталого навантаження ($\varepsilon \to \infty$; $\sigma_0 = const$),

Експлуатація залізобетонних конструкцій зі сталими навантаженнями створює умови для розвитку процесів повзучості в арматурній сталі. Це стосується конструкцій, армованих зварними ненапруженими каркасами, і конструкцій з попередньо напруженою арматурою. При цьому, в першому випадку процесам повзучості не передує пластична деформація арматури, а в другому – повзучість розвивається після появи в арматурі непружних властивостей (релаксації напружень). Практично в залізобетонних конструкціях, особливо попередньо напружених, повзучість сталі якоюсь мірою обмежена деформацією бетону й окремо проявлятися не може до моменту розкриття тріщин.

Повзучість сталі з релаксацією напружень тісно пов'язана спільністю фізико-хімічних явищ. В разі напруження зразка із сталі нижче від границі текучості, одночасно, але в різних елементарних об'ємах матеріалу можуть розвиватися процеси повзучості і релаксації напружень. При сталості деформації переважає релаксація напружень, а якщо немає обмежень розвитку пластичних деформацій – повзучість. У тілах з лінійною пружністю, при $\sigma_0 = const$, пружна деформація залишається сталою, а зразок подовжується за рахунок розвитку пластичної деформації. При сталій температурі сталі функціональна залежність деформації в часі при $\sigma_0 = const$ графічно виражається характерною кривою повзучості (рис. 2.6, *б*). Криві повзучості, так само як і релаксаційні криві, мають три яскраво виражених ділянки: I – період невтомленої повзучості з найбільшою швидкістю деформації; II – період втомленої повзучості з мінімальною і сталою швидкістю деформації; III – період руйнування матеріалу з «крихким» зламом або пластичним руйнуванням (утворенням шийки).

Розвиток процесів релаксації напружень і повзучості в арматурній сталі залежить від багатьох факторів. Нижче наведені найголовніші з них.

Тривалість напруженого стану арматурного елемента, яка значно впливає на розвиток його напруженості. Строк служби більшості залізобетонних конструкцій становить 60 років або $(4-5) \cdot 10^5$ год. Практичною базою часу випробування на релаксацію і повзучість арматурної сталі приймають 100, 300, 500 і 1000 год., бо за цей час можна визначити закономірності, що характеризують втрати напруження, і за допомогою екстраполяції встановити сподівану величину їх за розрахунковий період. Звичайно величина втрат напружень для більшості марок арматурної сталі за 1000 год. становить 55–95% від сподіваної величини втрат через $5 \cdot 10^5$ год.

Величина початкового напруження, яка визначає втрати напружень в арматурній сталі. При збільшенні початкового напруження повзучість і релаксація напружень в арматурі значно зростають, але при цьому не буває пропорційної залежності між напруженням і величиною його втрат.

У деяких випадках створюються умови, коли величина напруження, що діє на арматуру, зростає. Це буває, наприклад, під час віброущільнення бетону, якщо є напружені стержні арматури. При цьому арматура перебуває в складному напруженому стані, який виникає в результаті зусиль розтягання і змінних поперечних сил від віброущільнення. Накладання частоти власних коливань арматурного стержня на частоту вимушених коливань вібратора різко збільшує напруження арматури, а це, в свою чергу, призводить до додаткових деформацій. У таких умовах відзначено випадки збільшення втрат напружень до 40% у стержньовій арматурі і до 15% у високоміцному дроті порівняно з величиною втрат в арматурі, яка не зазнає вібрації [18, 76, 85, 86].

Швидкість прикладання навантаження має певний вплив на розвиток процесів релаксації напружень і повзучості: при збільшенні швидкості навантаження втрати напруження зростають. Це пояснюється непружними властивостями арматури, через те, що релаксація напружень і повзучість характеризуються відставанням швидкості деформації від швидкості навантаження арматури. Можна до мінімуму знизити втрати напружень в арматурі при умові поступового навантажування арматури протягом часу, що дорівнює активному періоду розвитку процесу релаксації напруження і повзучості в цьому матеріалі (8–25 год.). Практично такий режим напруження арматури у виробництві збірного залізобетону нераціональний.

Хімічний склад сталі. Найбільше впливають на релаксацію і повзучість вуглець, манган і хром. При збільшенні вмісту, вуглецю в сталі ці характеристики різко зменшуються як у стержньовій, так і в високоміцній арматурі. Збільшення дефектів структури у зв'язку з підвищенням вмісту вуглецю створює додаткові перешкоди для розвитку пластичних деформацій. Такі самі явища спостерігаються при введенні до сплаву сталі легуючих добавок. В усіх випадках величина релаксації напружень і повзучості низьколегованих сталей в 1,2–1,9 рази нижча, ніж низьковуглецевих [27, 45, 85].

Температурний режим виготовлення залізобетонних конструкцій. Одним із факторів, які суттєво впливають на розвиток пластичних деформацій в елементарних об'ємах металу, є температура. При підвищенні температури знижуються пружні константи сталі, збільшується дифундування атомів, знижується напруженість поля навколо дислокаційних систем і коефіцієнт в'язкості границь зерен. Підвищення сталої температури середовища, в якому перебуває напружений арматурний елемент, різко збільшує втрати напружень від релаксації. Так, підвищення температури від 20°С до 100°С збільшує втрати в 2,1–3,3, а до 170°С – у 2,8–4 рази. Така сама закономірність повзучості арматури спостерігається і при вищих температурах.

При виготовленні попередньо напружених залізобетонних конструкцій релаксація напружень і повзучість сталі відбуваються під дією змінної температури. Температура коливається протягом 8–16 год. у межах 40–80°C і збігається з періодом найбільшої швидкості процесу релаксації напружень і повзучості в арматурній сталі. Закономірності розвитку процесів релаксації і повзучості при змінних температурах відрізняються від тих, які характерні для сталої температури (t = const). Якщо при сталій температурі швидкість релаксації змінюється плавно, то при змінній температурі швидкість змінюється різко в зоні коливання температур, що спричинює додаткові втрати напружень [8, 87].

Витривалість – це здатність арматури чинити опір руйнуванню під дією повторних і знакозмінних напружень. Явище руйнування металу при повторних знакозмінних навантаженнях називається втомленістю металів, яка характеризується кривою руйнування арматури при напруженні – σ і циклах навантаження – $N_к$ (рис. 2.7).

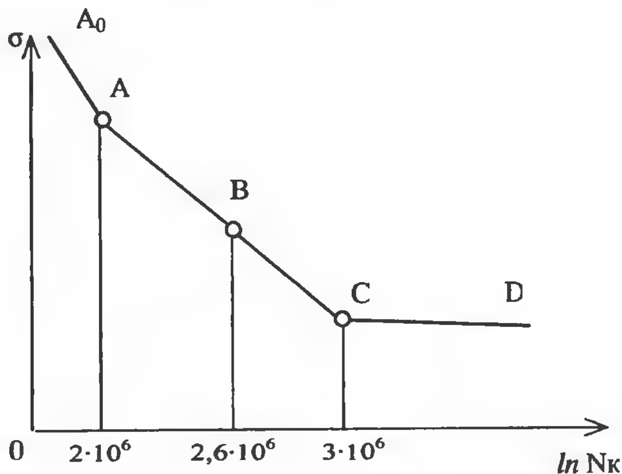


Рис. 2.7. **Характер руйнування арматури (втомленість) при циклічних навантаженнях**

Урахування циклічної міцності і витривалості арматури при проектуванні режимів виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій дає можливість скоригувати технологію виготовлення конструкцій з урахуванням впливу її на довговічність арматурної сталі (міцність у часі при повторних і знакозмінних напруженнях); уточнює необхідність застосування відповідних видів арматури для використання в залізобетонних конструкціях, що працюють при знакозмінних і динамічних навантаженнях (шпали, прогони мостових споруд, підкранові балки тощо).

Циклічна міцність сталевого зразка залежить від виду арматури та її профілю і від факторів навантаження (закону напруження, часу і типу дії змінного навантаження). Закон змінного напруження може мати вигляд кривої синусоїдної форми, яка характеризує зміну напруження з симетричним та асиметричним циклами і може бути записана у вигляді формул (2.8) і (2.9):

при симетричному циклі

$$\sigma = \lambda_R \cdot \sin\omega_S \cdot \tau; \tag{2.8}$$

при асиметричному циклі

$$\sigma = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} + \lambda_R \cdot \sin\omega_S \cdot \tau; \tag{2.9}$$

де ω_S – циклічна частота коливання, λ_R – динамічний коефіцієнт.

Цикл характеризується коефіцієнтом асиметричності, що підрахують за формулою (2.10), який показує відношення найменших напружень до найбільших:

$$r_i = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}. \tag{2.10}$$

Розмах коливань підраховується за формулою (2.11), як алгебраїчна різниця між максимальним і мінімальним напруженнями циклу:

$$R_k = \sigma_{max} - \sigma_{min}. \tag{2.11}$$

Час дії змінного навантаження залежить від частоти і кількості циклів коливання. При випробуванні арматурної сталі значення $N_к$ приймають від $2 \cdot 10^6$ до $3 \cdot 10^6$ і вважають достатнім для визначення границі втомленості (витривалості) сталі. Частоту звичайно встановлюють у межах 200–400 кол/хв. Границю втомленості σ_ω визначають максимальним напруженням, яке допускає повторення циклу навантаження ($N_к$, разів) без руйнування зразка. При підвищенні напруження або збільшенні кількості циклів навантаження сталь руйнується [42, 64].

На підставі кривої в системі координат σ і $ln\ N_к$ (рис. 2.7) можна відзначити певну закономірність: чим вище напруження σ, тим менша кількість коливань $N_к$, потрібна для руйнування зразка (крива A_0ABC). І, навпаки, чим нижче σ, тим більше циклів коливань сприйматиме арматура (крива CD).

Руйнування від втомленості металу пояснюється зсувними, дифузійними та дислокаційними явищами.

2.4. Зварюваність і корозійна стійкість арматурних сталей

Особливістю сучасної вітчизняної практики виробництва залізобетонних конструкцій, є широке використання різних способів зварювання арматурного прокату [4, 130].

Зварювання є одним з основних технологічних процесів виготовлення арматурних виробів, який полягає у з'єднанні арматурних заготовок або металевих деталей (тісне зближення їх) та нагрівання до пластичного або розплавленого стану ділянок стикання. В результаті в зоні зварювання відбувається складний фізико-хімічний процес, пов'язаний із взаємним проникненням атомів одного металу в інший та утворенням після охолодження міцного нерознімного з'єднання – зварного шва.

Високе місцеве нагрівання при зварюванні спричинює значні зміни в структурі металу. При зварюванні вуглецевих сталей метал у зоні термічної дії нагрівається до температур, які перевищують критичні, тобто переходить в аустенітову структуру, а потім в процесі охолодження в цій зоні відбувається перекристалізація з утворенням нових структур. На рис. 2.8 показано схему структурних змін у зоні термічної дії при зварюванні маловуглецевої сталі. Зона термічної дії поширюється тільки на ті ділянки металу, де температура вища від лінії PS на діаграмі станів сплавів системи залізо-вуглець.

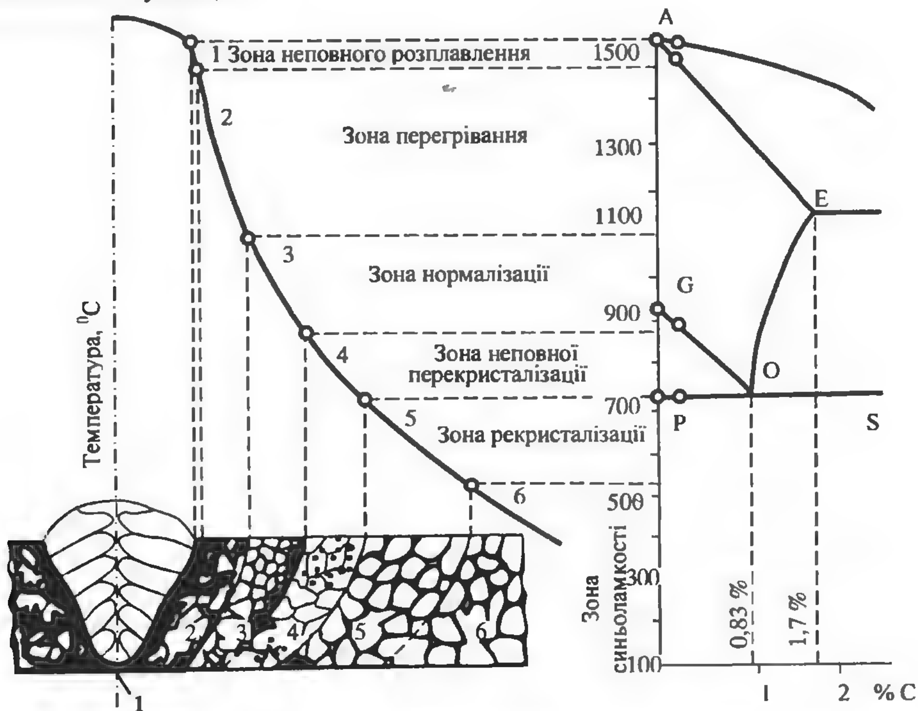


Рис. 2.8. **Схема структурних змін у зварному шві**

З врахуванням цього одною з основних вимог до арматурного прокату, а особливо до нових видів прокату, є зварюваність.

Зварюваність – складна сукупність характеристик, під якою розуміють здатність якого-небудь металу давати доброякісні з'єднання з іншим чи таким самим металом при зварюванні.

В закордонній практиці поняття зварюваність характеризується трьома критеріями «придатність до зварювання, можливість зварювання, надійність зварювання». Стосовно арматурного прокату також розрізняють металургійну зварюваність – здатність сталі зварюватись різними видами зварювання без утворення гарячих і холодних тріщин і експлуатаційну зварюваність – відповідність механічних властивостей зварних з'єднань вимогам нормативних документів, зокрема ГОСТ 10992 і ГОСТ 14098. Основними критеріями експлуатаційної зварюваності приймають: границю міцності зварного з'єднання – тимчасовий опір ($\sigma_в$), мінімальну локальну границю текучості в зоні зварного з'єднання ($\sigma_т$), характер руйнування зварного з'єднання, співвідношення між границею текучості в вихідному стані і границею міцності зварного з'єднання.

Зварюваність сталі залежить від її хімічного складу, способу виплавлення, стану поставку, діаметра і профілю стержнів, способу і технології зварювання, конструкції з'єднання і умов експлуатації конструкції. Так, вміст вуглецю впливає на загартованість сталі в зоні термічної дії зварювання. При вмісті $C \leq 0{,}25\%$ сталі зварюються добре, при більшому вмісті вплив вуглецю на загартування стає помітним і тоді, щоб запобігти тріщинам, рекомендується попереднє прогрівання. Інші хімічні елементи, що їх містить сталь, наприклад кремній, алюміній, можуть утворювати тугоплавкі оксиди, які в наплавленому металі часто залишаються у вигляді неметалевих включень і знижують якість зварних з'єднань [85].

Всі арматурні сталі за зварюваністю поділяють на:

– добре зварювані;

– задовільно зварювані;

– обмежено зварювані, з застосуванням спеціальних способів зварювання;

– незварювані.

До добре зварюваних сталей належать гарячекатана арматура Ст3, Ст5, 10ГТ з малим вмістом вуглецю. Низьколеговані сталі 25Г2С, 35ГС, 20ХГ2Ц, 23Х2Г2Т слід віднести до задовільно зварюваних, а сталі 65ГС, Б45Г2С, 80С з підвищеним вмістом вуглецю – до незварюваних. Термічно оброблені арматурні сталі належать до обмежено зварюваних (Ат-IVC, Ат-VCK, Вр-I) і незварюваних, бо висока температура та окислення під час зварювання призводять до зменшення міцності або до підвищення крихкості сталі. До незадовільно зварюваних сталей належать і холодно-

деформовані сталі (В-ІІ, Вр-ІІ), зварювання яких також призводить до зменшення міцності і підвищення крихкості.

Розвиток корозії арматури залізобетонних конструкцій в залежності від умов її роботи і властивостей металу може призвести до настання передчасної пластичної текучості стержнів чи до їх крихкого обриву, що відповідно призведе до руйнування залізобетонних конструкцій. Тому одною з основних вимог до експлуатаційних характеристик арматурного прокату є корозійна стійкість металу, з якого він виготовлений.

Корозія арматури в бетоні є частковим випадком різноманітного явища корозії металів і може проявлятись у вигляді [3, 79]:

– загальної корозії, яка охоплює всю поверхню металу, що може бути рівномірною чи нерівномірною за глибиною;

– місцевої корозії, яка уражує лише окремі ділянки поверхні металу;

– корозійного розтріскування, що викликає передчасний крихкий обрив стержнів [79].

Відповідно розрізняють два види корозійної стійкості металу:

– стійкість проти загальної (поверхневої) корозії;

– стійкість проти корозійного розтріскування під напругою.

Корозія металу в конструкціях без попереднього напруження призводить:

– до зменшення поперечного перерізу стержня через окислення (утворення оксидів і гідроксидів заліза) металу;

– створення концентраторів напружень через утворення виразок (каверн) на поверхні стержнів.

Корозія металу в результаті контакту з киснем і кисневовміщуючими сполуками відбувається в результаті утворення тріщин в бетоні, а також спонтанної втрати поверхневим шаром залізобетонної конструкції захисних функцій бетону (зниження його основності).

При використанні гарячекатаної ненапруженої стержньової арматури слід рахуватися лише з поверхневою корозією, яка для неї менш небезпечна, ніж для інших видів арматури, що мають невеликий діаметр. При дії на конструкції агресивних середовищ доцільно використовувати стержні великих діаметрів, для яких питома вага втрат площі стержня від корозії менша.

Ненапружувана термічно зміцнена в потоці прокатувального стану арматурна сталь за своєю корозійною стійкістю не поступається базовій гарячекатаній сталі і може її замінити при виготовлені залізобетонних конструкцій [4].

Напружувана стержньова арматура, яка має невисокі пластичні характеристики, може бути схильна до крихкого корозійного руйнування. При певних умовах розтягувальні напруження інтенсифікують розвиток

місцевих уражень виразкового характеру, що призводить до корозійної крихкості арматури. Це найбільш небезпечно для стержнів малого діаметра. Особливим випадком корозії під напругою є корозійне розтріскування, яке може розвиватися приховано, не викликаючи ушкоджень захисного шару бетону, але призводить до раптового руйнування конструкцій.

Корозія під напругою чи корозійне розтріскування металу – особливий вид руйнування металу, що відбувається при сумісній дії на нього розтягувальних напружень і агресивних середовищ [29, 48]. При розвитку цього процесу спостерігається крихке руйнування металу без помітної пластичної деформації. Причиною розтріскування є «розчинення» металу в основі тріщин і зниження сил зв'язку атомів кристалічної гратки в основі тріщин і інших дефектних ділянок. Отже, *стійкість проти корозійного розтріскування під напругою* – це здатність металу не руйнуватися протягом певного часу за спільної дії розтягувальних напружень і агресивних середовищ.

Основними факторами, що визначають схильність арматурного прокату до розтріскування під напругою є хімічний склад сталі і її структурний стан. З підвищенням масової частки вуглецю в сталі (в межах 0,18–0,5%) схильність арматурного прокату до корозійного розтріскування збільшується, через це високоміцний дріт більше піддається корозії, ніж низьковуглецева сталь.

Підвищення масової частки кремнію в сталі до 2% дозволяє підвищувати на порядок корозійну стійкість сталі. В інших країнах корозійну стійкість арматурного прокату підвищують введенням (легуванням) інших хімічних елементів.

Також існують і технологічні способи підвищення корозійної стійкості. Так, в Україні розроблено технологічний спосіб отримання корозійно стійкого арматурного прокату. Він полягає в тому, що на поверхні прокату утворюється високовідпущений шар товщиною не менше 0,3 мм з твердістю не більше 280 HV. В результаті цього суттєво знижується напружений стан на поверхні стержнів і їх чутливість до дій агресивних середовищ. Таке рішення було реалізовано в ГОСТ 10884.

Таким чином, використовуючи різні способи виробництва, отримують арматурний прокат стійкий проти корозії.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Назвіть принципи і ознаки класифікації арматурних сталей. Що таке марки сталі?
2. Як класифікують арматурні сталі за способом виробництва?
3. Охарактеризуйте основні механічні властивості арматурних сталей і методи їх випробування

4. Розкрийте поняття «діаграма напруження – деформації» арматурної сталі (діаграма розтягування).

5. Назвіть принципи позначення класів міцності арматури залізобетонних конструкцій. Для чого використовують індекси при позначенні класів міцності? Наведіть приклади позначення класів міцності арматурного прокату.

6. Як поділяють арматуру залізобетонних конструкцій за умовами поставки і використання?

7. Охарактеризуйте реологічні властивості арматурних сталей. Що таке релаксація і повзучість?

8. Як характеризують поняття «зварюваність» в Україні та за кордоном? Наведіть класифікацію арматурних сталей за цим показником.

9. Охарактеризуйте корозію арматури в бетоні. Назвіть види корозійної стійкості металу. Що таке корозія під напругою?

РОЗДІЛ 3

ВИМОГИ ДО АРМАТУРИ ДЛЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

3.1. Позначення арматурних сталей за діючими нормативними документами

В залежності від основних механічних властивостей сталі поділяються на класи.

Гарячекатану арматурну сталь, що не піддається після прокатування зміцнюючій обробці, в нашій країні випускають декількома класами, за двома нормативними документами – ГОСТ 5781 і ДСТУ 3760, кожний з класів позначається літерним індексом «А».

Згідно ГОСТ 5781 арматурну сталь поділяють на клас: A-I(A240), A-II(A300), Ac-II(Ac300), A-III(A400), A-IV(A600), A-V(A800), A-VI(A1000). В позначеннях за літерним індексом наведена римська цифра, що означає клас, а в дужках знову наводять літерний індекс «А» з числом, яке є встановленим стандартом нормованим значенням умовної чи фізичної границі текучості в МПа (Н/мм^2).

За ДСТУ 3760 прокат виготовляють класів: А240С, А400С, А500С, А600, А600С, А600К, А800, А800К, А800СК і А1000. В позначеннях після літерного індексу «А» наводять цифру – встановлене стандартом значення умовної чи фізичної границі текучості в МПа (Н/мм^2) та індекс, який вказує на службові властивості прокату. В залежності від службових властивостей прокат поділяють на той, що зварюється (індекс «С») і той, що не зварюється (без індексу «С»); тривкий до корозійного розтріскування під напругою (індекс «К») і нетривкий до корозійного розтріскування (без індексу); зварюваний та тривкий до корозійного розтріскування під напругою (індекс «СК»).

Термічно і термомеханічно зміцнена арматурна сталь позначається індексом «Ат», з відповідною цифрою, в залежності від мінімального значення границі текучості. Якщо сталь має стійкість проти корозійного розтріскування під напругою, то для її позначення використовують індекс «К», якщо сталь зварювана, то в позначенні використовують індекс «С».

Термомеханічно зміцнена арматурна сталь випускається за міждержавним стандартом ГОСТ 10884 введеним в дію на території України з

01.01.1997 року. За цим стандартом арматурну сталь поділяють на класи: Ат400С, Ат500С, Ат600, Ат600С, Ат600К, Ат800, Ат800К, Ат1000, Ат1000К і Ат1200.

Звичайний арматурний дріт виготовляють періодичного профілю класу ВрІ за ГОСТ 6727. Високоміцний дріт, який виготовляють за ГОСТ 7348, поділяють на гладкий, що позначають літерою В і періодичного профілю – Вр. Такий дріт за станом виготовлення поділяють на дріт з відпуском (без індексу) і дріт з відпуском під напругою, тобто стабілізований (індекс «Р»). За точністю виготовлення високоміцний дріт поділяють на три групи – 1, 2, 3. В залежності від діаметра і величини умовної границі текучості високоміцний дріт виготовляють 4-х класів міцності: 1500, 1400, 1300 і 1200.

З дротяних арматурних виробів, до яких відносять арматурні канати, найбільшого розповсюдження і використання набули канати однократного сукання з 7 та 19 дротин. Такі канати позначають індексом «К» з двома відповідними цифрами: перша означає кількість дротин у канаті, друга – встановлене стандартом нормоване значення умовної границі текучості в МПа (Н/мм^2).

Семипрядні арматурні канати, що зараз випускаються, після звивання проходять низько-температурний відпуск [131], і тоді називаються «відпущеними» (без індексу), чи стабілізацію, тобто відпуск сумісний з розтягом і називаються «стабілізованими» (з індексом «С»).

Відпущені канати виготовляють в Росії, їх випускають Череповецький і Орловський сталедротяні (рос. – сталепроволочные) канатні заводи (ЧСПЗ і ОСПЗ), Белорецький металургійний комбінат (БМК). Стабілізовані канати до 2000 р в СНД виготовлялись лише на Україні – Харцизским СПЗ.

Поряд з державними і міжнародними стандартами в Україні розроблені і технічні умови, за якими виготовляють арматурний прокат [118–122].

3.2. Вимоги до параметрів і розмірів арматурного прокату

3.2.1. Горячекатана і термомеханічно зміцнена арматура

За видом поверхні сталева арматура може бути круглою гладкою чи періодичного профілю.

Арматурну сталь класу А-І(А240) за ГОСТ 5781 і класу А240С за ДСТУ 3760 виготовляють гладкою. Стержньову арматурну сталь всіх інших класів (ГОСТ 5781, ДСТУ 3760 і ГОСТ 10884) виготовляють періодичного профілю. Гладкою, за погодженням виробника з споживачем, можуть виготовляти арматурну сталь класу Ат800 і вище.

Першим видом арматури періодичного профілю була сталь класу А-ІІ з границею текучості $\sigma_т \geq 300$ МПа, виробництво якої було розпочато в

кінці 40-х років минулого століття. Використання такої арматури в залізобетонних конструкціях замість гладких стержнів з сталі марки Ст3 з границею текучості 210–250 МПа потребувало значного збільшення її зчеплення з бетоном, що було забезпечено за рахунок періодичного профілю [52, 80]. Тоді ж був розроблений ГОСТ 5781-51 «Сталь горячекатаная периодического профиля для армирования железобетонных конструкций», який формував вимоги до арматури періодичного профілю діаметром 12–32 мм з сталі марки Ст5 групи А ГОСТ 380-50 [79]. Одночасно була розроблена і дротяна арматура періодичного профілю [2, 16].

З того часу і до 1987 р періодичний профіль стержньової арматури не змінювався. Прутки арматури з профілем за ГОСТ 5781 являть собою круглий профіль з двома поздовжніми ребрами і поперечними виступами, які розташовані під кутом до поздовжньої осі стержня і йдуть за тризаходною гвинтовою лінією (рис. 3.1).

Для стержнів діаметром 6 і 8 мм допускається розташування виступів за одно- і двозаходними гвинтовими лініями. Арматурна сталь класу А-ІІ (А300) має виступи, що йдуть за гвинтовими лініями з однаковим заходом на обох боках профілю, а арматурна сталь класу А-ІІІ (А400) і інших більш міцних видів (А600 – А1200) випускають з виступами за гвинтовими лініями, що мають з одного боку правий, а з іншого – лівий заходи.

Вибір конструкції і геометричних розмірів профілю для арматурної сталі є складною технологічною задачею в зв'язку з тим, що при цьому повинні задовольнятися багаточисельні і суперечливі один одному вимоги.

Забезпечення найкращих умов сумісної роботи арматури з бетоном в звичайному залізобетоні вимагає необхідного, для даного класу сталі, найбільшого зусилля зчеплення і найменшої довжини анкерування при одночасному збереженні механічних властивостей і високої границі витривалості.

Кільцевий періодичний профіль стержньової арматури за ГОСТ 5781 класів А-ІІІ(А400), А-IV(А600), А-V(А800), А-VI(А1000) з поздовжніми і поперечними ребрами, що перетинаються, призводить до концентрації напружень в місцях їх перетину, зниженню пластичності, неповному використанню механічних властивостей і обмежує міцність сталі при навантаженнях, які багатократно повторюються [96, 100, 129].

Проведений порівняльний аналіз [52, 57] вимог стандартів ISO, Німеччини і інших країн і ГОСТ 5781 до періодичного профілю арматури показав, що останні 25–30 років всі країни Європи і більшість країн світу випускають арматуру з серповидним періодичним профілем [38, 71, 96, 100, 106, 107, 109, 129]. За таким профілем виготовляють арматурний прокат за ДСТУ 3760. Прокат з серповидним профілем має поперечні серповидні виступи, які заходять на нуль і не повинні з'єднуватись з поздовжніми виступами. Поздовжні виступи не обов'язкові (рис 3.1).

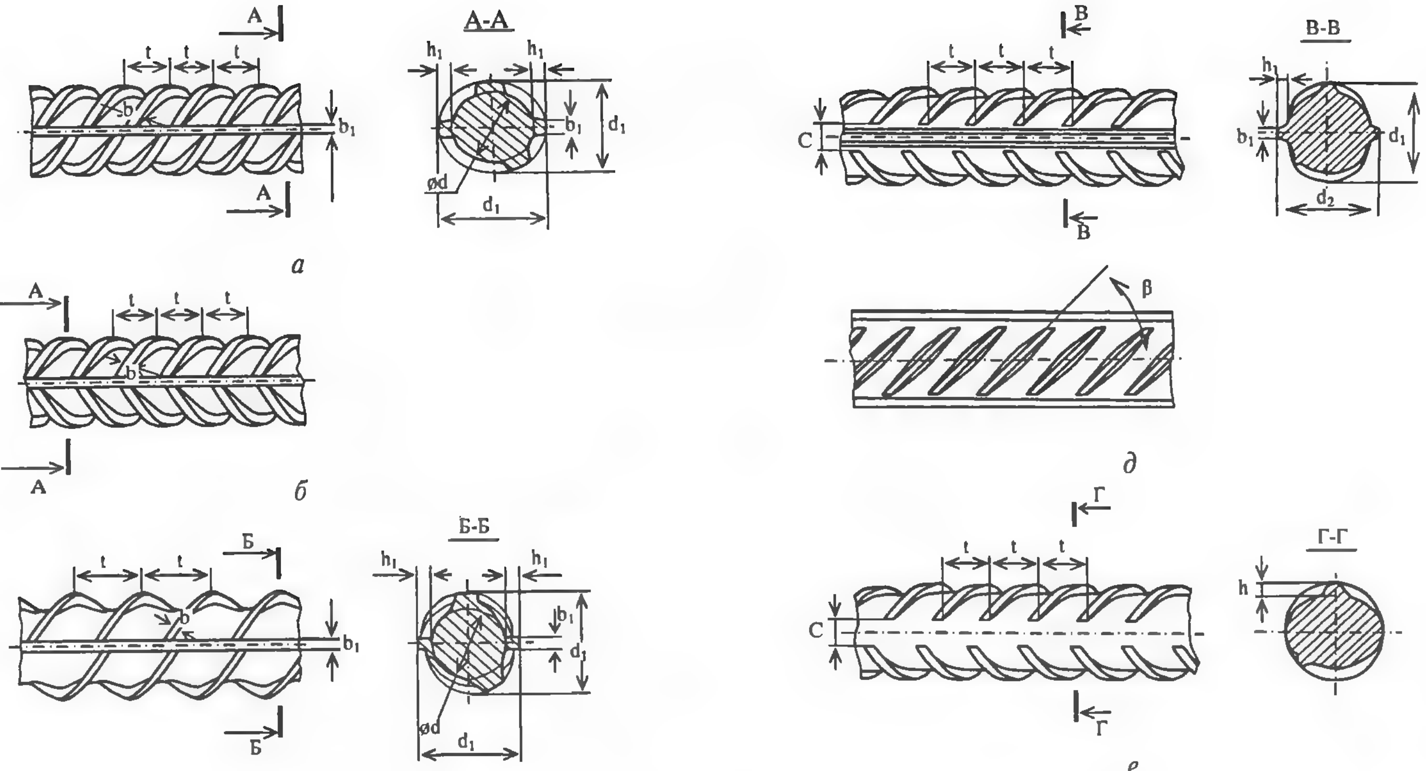


Рис. 3.1. **Профілі арматурного прокату:**
а, б, в, г – за ГОСТ 5781; *д, е* – серповидні за ДСТУ 3760
а – класу А-II(А300) в звичайному виконанні; *б* – класів А-III(А400), А-IV(А600), А-V(А800), А-VI(А1000); *в* – класу Ас-II(Ас300) спеціального призначення; *г* – класів А-IV(А600), А-V(А800), А-VI(А1000); *д* – з поздовжніми виступами; *е* – без поздовжніх виступів

За рахунок серповидного періодичного профілю ліквідуються концентратори напруження в місцях перетину поздовжніх ребер і поперечних виступів і знижується розклинююча дія профілю на бетон.

Дослідження [96, 100, 129] довели значний вплив геометрії періодичного профілю на механічні властивості арматурної сталі.

Загальні закономірності впливу геометрії періодичного профілю на механічні властивості арматурної сталі можна з деякими спрощуваннями сформулювати наступним чином. Чим частіше поперечні виступи, більше їх перетинань з поздовжніми ребрами і менше радіус зіткання з тілом стержня, тим нижче:

– опір сталі навантаженням, які багатократно повторюються (витривалість) і динамічним навантаженням;

– пластичні властивості арматури і опір крихким руйнуванням при низьких мінусових температурах;

– статична міцність (тимчасовий опір і границя текучості);

– опір сталі корозійному розтріскуванню;

– технологічність переробки в будівництві.

За цими причинами високоміцну напружувану сталь для натягування «на бетон» в відповідальних спорудах таких, як мости і т. п., в багатьох країнах використовують у вигляді гладких стержнів [39, 57, 132, 135].

Конструкція періодичного профілю в значній мірі визначає ефективність виробництва арматурної сталі і на металургійних підприємствах. Зменшення концентраторів на поверхні арматурного прутка при переході на серповидний профіль збільшує в 1,5 рази стійкість калібрів (прокатних валків) і відповідно зменшує витрати на прокатування арматури.

Термомеханічно зміцнену арматурну сталь, за ГОСТ 10884, виготовляють періодичного профілю за ГОСТ 5781 і серповидного профілю за ДСТУ 3760 (рис. 3.1).

За ГОСТ 5781 арматурну сталь виготовляють діаметром від 6 до 80 мм. За ДСТУ 3760 арматурну сталь класу А240С виготовляють круглого перерізу з гладкою поверхнею діаметром від 5,5 до 40 мм, арматурний прокат інших класів, як і за ГОСТ 10884, виготовляють з періодичним профілем номінальними діаметрами від 6 до 40 мм.

Для стержньової арматури всіх класів встановлений єдиний сортамент, при цьому номінальні діаметри стержнів періодичного профілю, $d_н$, повинні відповідати номінальним діаметрам рівновеликих за площею поперечного перерізу круглих гладких стержнів. Прокат гладкий круглий характеризується діаметром – d.

Сортамент (номери профілів), площі поперечного перерізу, маса 1 м довжини арматурної стержньової сталі гладкого і періодичного профілю наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Сортамент стержньової арматурної сталі

Номінальний діаметр, мм	Розрахункова площа поперечного перерізу, $см^2$	Теоретична маса 1 м довжини, кг	Номінальний діаметр, мм	Розрахункова площа поперечного перерізу, $см^2$	Теоретична маса 1 м довжини, кг
5,5	0,238	0,187	28	6,160	4,830
6,0	0,283	0,222	32	8,040	6,310
8,0	0,503	0,395	36	10,180	7,990
10	0,785	0,617	40	12,570	9,870
12	1,131	0,888	45	15,000	12,480
14	1,54	1,210	50	19,630	15,410
16	2,01	1,580	55	23,780	18,650
18	2,54	2,000	60	28,270	22,190
20	3,14	2,470	70	38,480	30,210
22	3,80	2,980	80	50,270	39,460
25	4,91	3,850			

Примітка. 1. За ДСТУ 3760 допускається виготовляти прокат проміжних розмірів із іншим періодичним профілем. При цьому граничні відхилення та показники геометричних розмірів профілю повинні задовольняти вимоги до профілів найближчого меншого номінального діаметра.

2. Густина сталі прийнята рівною 7,85 $кг/дм^3$.

Контрольованими геометричними характеристиками арматурних сталей є вид профілю (рис. 3.1), форма поперечного перерізу і його розміри. Параметри елементів арматурної сталі періодичного профілю і допуски до них наведені: в табл. 3.2 і 3.3 – для арматурного прокату, виготовленого за ГОСТ 5781, в табл. 3.4, а за – ДСТУ 3760, в табл. 3.5 – ГОСТ 10884.

Таблиця 3.2

Параметри профілю арматури класу А-II(А300) і Ас-II(Ас300)

Розміри в мм

<table>
<tr><th rowspan="2">Номер профілю (номінальний діаметр $d_н$)</th><th colspan="2">d</th><th colspan="2">h</th><th rowspan="2">d_1</th><th rowspan="2">h_1</th><th rowspan="2">t</th><th rowspan="2">b</th><th rowspan="2">b_1</th></tr>
<tr><th>номінальний</th><th>граничні відхилення</th><th>номінальна</th><th>граничні відхилення</th></tr>
<tr><td>6</td><td>5,57</td><td rowspan="8">+0,3
-0,5</td><td>0,5</td><td rowspan="2">±0,25</td><td>6,75</td><td>0,5</td><td rowspan="2">5</td><td>0,5</td><td>1,0</td></tr>
<tr><td>8</td><td>7,5</td><td>0,75</td><td>9,0</td><td>0,75</td><td>0,75</td><td>1,25</td></tr>
<tr><td>10</td><td>9,3</td><td>1,0</td><td rowspan="8">±0,5</td><td>11,3</td><td>1,0</td><td rowspan="3">7</td><td rowspan="3">1,0</td><td>1,5</td></tr>
<tr><td>12</td><td>11,0</td><td rowspan="2">1,25</td><td>13,5</td><td rowspan="2">1,25</td><td rowspan="7">2,0</td></tr>
<tr><td>14</td><td>13,0</td><td>15,5</td></tr>
<tr><td>16</td><td>15,0</td><td rowspan="5">1,5</td><td>18,0</td><td rowspan="5">1,5</td><td rowspan="5">8</td><td rowspan="6">1,5</td></tr>
<tr><td>18</td><td>17,0</td><td>20,0</td></tr>
<tr><td>20</td><td>19,0</td><td>22,0</td></tr>
<tr><td>22</td><td>21,0</td><td rowspan="2">+0,4
-0,5</td><td>24,0</td></tr>
<tr><td>25</td><td>24,0</td><td>27,0</td></tr>
<tr><td>28</td><td>26,5</td><td rowspan="6">+0,4
-0,7</td><td rowspan="2">2,0</td><td rowspan="6">±0,4</td><td>30,5</td><td rowspan="2">2,0</td><td>9</td><td>2,5</td></tr>
<tr><td>32</td><td>30,5</td><td>34,5</td><td>10</td><td rowspan="3">2,0</td><td rowspan="3">3,0</td></tr>
<tr><td>36</td><td>34,5</td><td rowspan="2">2,5</td><td>39,5</td><td rowspan="2">2,5</td><td rowspan="2">12</td></tr>
<tr><td>40</td><td>38,5</td><td>43,5</td></tr>
<tr><td>45</td><td>43,0</td><td rowspan="6">3,0</td><td>49,0</td><td rowspan="6">3,0</td><td rowspan="6">15</td><td rowspan="6">2,5</td><td rowspan="2">3,5</td></tr>
<tr><td>50</td><td>48,0</td><td>54,0</td></tr>
<tr><td>55</td><td>53,0</td><td rowspan="2">+0,4
-1,0</td><td rowspan="4">±1,0</td><td>59,0</td><td rowspan="2">4,0</td></tr>
<tr><td>60</td><td>58,0</td><td>64,0</td></tr>
<tr><td>70</td><td>68,0</td><td rowspan="2">+0,5
-1,1</td><td>74,0</td><td rowspan="2">4,5</td></tr>
<tr><td>80</td><td>77,5</td><td>83,5</td></tr>
</table>

Примітка. Наведені параметри профілю арматурної сталі періодичного профілю за рис. 3.1 а і в.

Таблиця 3.3

Параметри профілю арматури класів А-ІІІ(А400) – А-VI(А1000)

Розміри в мм

<table>
<tr><th rowspan="2">Номер профілю (номінальний діаметр $d_н$)</th><th colspan="2">d</th><th colspan="2">h</th><th rowspan="2">d_1</th><th rowspan="2">h_1</th><th rowspan="2">t</th><th rowspan="2">b</th><th rowspan="2">b_1</th><th rowspan="2">α, град.</th></tr>
<tr><th>номінальний</th><th>граничні відхилення</th><th>номінальна</th><th>граничні відхилення</th></tr>
<tr><td>10</td><td>8,7</td><td rowspan="6">+3,0
-0,5</td><td rowspan="2">1,6</td><td rowspan="2">±0,5</td><td>11,9</td><td rowspan="2">1,6</td><td rowspan="2">10</td><td rowspan="2">0,7</td><td>1,5</td><td rowspan="12">50</td></tr>
<tr><td>12</td><td>10,6</td><td>13,8</td><td rowspan="7">2,0</td></tr>
<tr><td>14</td><td>12,5</td><td>2,0</td><td rowspan="6">+0,65
-0,86</td><td>16,5</td><td>2,0</td><td rowspan="5">12</td><td rowspan="5">1,0</td></tr>
<tr><td>16</td><td>14,2</td><td rowspan="5">2,5</td><td>19,2</td><td rowspan="5">2,5</td></tr>
<tr><td>18</td><td>16,2</td><td>21,2</td></tr>
<tr><td>20</td><td>18,2</td><td>23,2</td></tr>
<tr><td>22</td><td>20,3</td><td rowspan="2">+0,4
-0,5</td><td>25,3</td></tr>
<tr><td>25</td><td>23,3</td><td>28,3</td><td rowspan="2">14</td><td rowspan="2">1,2</td></tr>
<tr><td>28</td><td>25,9</td><td rowspan="4">+0,4
-0,7</td><td>3,0</td><td rowspan="4">+1,0
-1,2</td><td>31,9</td><td>3,0</td><td>2,5</td></tr>
<tr><td>32</td><td>29,8</td><td>3,2</td><td>36,2</td><td>3,2</td><td>16</td><td rowspan="3">1,5</td><td rowspan="3">3,0</td></tr>
<tr><td>36</td><td>33,7</td><td rowspan="2">3,5</td><td>40,7</td><td rowspan="2">3,5</td><td rowspan="2">18</td></tr>
<tr><td>40</td><td>37,6</td><td>44,6</td></tr>
</table>

Примітка. Наведені параметри профілю арматурної сталі періодичного профілю за рис. 3.1 *б* і *г*.

Таблиця 3.4

Характеристика профілів арматурного прокату за ДСТУ 3760

Назва показника геометричних розмірів виступів	Номінальний діаметр прокату, $d_н$, мм	Геометричні розміри профілю
Висота поперечних виступів, *h*, мінімальна, мм	від 6 до 18 включно понад 18 до 40 включно	$0{,}070d_н$ $0{,}065d_н$
Крок поперечних виступів, *t*, мм	від 6 до 8 включно понад 8 до 40 включно	$(0{,}50–0{,}70)d_н$ $(0{,}50–0{,}60)d_н$ $(0{,}51–0{,}69)d_н$
Кут нахилу, β, град	від 6 до 40 включно	35–70
Відстань між кінцями поперечних виступів, С, не більше, мм	від 6 до 40 включно	$0{,}1\pi d_н$
Відносна площа зминання поперечних виступів, f_r, min	від 6 до 8 включно понад 8 до 40 включно	0,045 0,056
Розміри виступів *b*, h_1, b_1, мм	від 6 до 40 включно	$(0{,}10–0{,}15)\ d_н$

Таблиця 3.5

Характеристика профілю з серповидними виступами за ГОСТ 10884

Номінальний діаметр прокату, $d_н$, мм	Параметри періодичного профілю							
	d, мм	висота поперечних виступів, h, мінімальна, мм	d_1, мм			крок поперечних виступів, t, мм	відстань між кінцями поперечних виступів, C, не більше, мм	кут нахилу, β, град.
			номінальний	відхилення при точності				
				звичайній	підвищеній			
6	5,8	0,4	7,0	+ 0,8 -1,0	±0,6	5	1,9	рекомендується 45, допускаються від 35 до 70
8	7,7	0,6	9,3			6	2,5	
10	9,5	0,8	11,5	+0,9 -1,6		7	3,1	
12	11,3	1,0	13,7			8	3,8	
14	13,3	1,1	15,6			9	4,4	
16	15,2	1,2	18,0	+1,2 -1,8	±0,8	10	5,0	
18	17,1	1,3	20,1			11	5,6	
20	19,1	1,4	22,3			12	6,3	
22	21,1	1,5	24,5			14	6,9	
25	24,1	1,6	27,7			15	7,9	
28	27,0	1,8	31,0	+1,7 -2,5	±1,2	17	8,8	
32	30,7	2,0	35,1			18	10,0	
36	34,5	2,3	39,5			19	11,3	
40	38,4	2,5	43,8			20	12,5	

В закордонних, міжнародних і українському стандартах оцінка ефективності профілю звичайної арматури визначається, за відносною площею зминання [37, 38, 106], що розраховується за формулою (3.1):

$$f_r = \frac{F_{cm}}{\pi \cdot d_н \cdot t}, \tag{3.1}$$

де $d_н$ – номінальний діаметр арматури, мм; t – крок поперечних виступів, мм; F_{cm} – площа зминання, що визначається як проекція поперечних виступів профілю на площину, яка перпендикулярна осі арматурного стержня, мм^2.

Нормована мінімальна величина f_r в більшості закордонних стандартів [38, 106] для стержнів діаметром до 10 мм складає 0,039–0,048, а для арматури діаметром 12–40 – 0,048–0,06.

Євростандартом EN 10080 [38] для напружуваної арматури класу В500 мінімальні значення f_r встановлені рівними 0,039, 0,045 і 0,052 для стержнів діаметрами 6, 8 і 10 мм і 0,056 для стержнів діаметром 12–40 мм. Введений в Україні стандарт ДСТУ 3760 [37] встановлює мінімальні значення f_r для серповидного профілю на рівні Європейського стандарту: 0,045 – для стержнів діаметром 6 і 8 мм, і 0,056 – для стержнів діаметром 10–40 мм.

ГОСТ 5781 не регламентує величину f_r. За розрахунками середнє значення f_r для кільцевого профілю стержнів діаметром 10–40 мм складає 0,133–0,214, а мінімальне 0,06–0,141, тобто суттєво більше, ніж для серповидного, так і для кільцевого профілю. Однак, фактично мінімальні значення f_r стержнів з кільцевим профілем бувають суттєво нижче (до 0,03) [52].

Основні нормовані геометричні розміри серповидного профілю за EN 10080 і ДСТУ 3760 і кільцевого за ГОСТ 5781 наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Основні нормовані геометричні розміри профілів

d, мм	Геометричні розміри профілю											
	EN 10080					ГОСТ 5781			ДСТУ 3760			
	h_{min}	h_{max}	t_{min}	t_{max}	$f_{r\,min}$	h_{min}	h_{max}	t^*	h_{min}	t_{min}	t_{max}	$f_{r\,min}$
	мм					мм			мм			
6	0,3	0,6	3,0	6,0	0,039	0,25	0,75	5,0	0,42	3,84	5,16	0,045
8	0,4	0,8	4,0	8,0	0,045	0,50	1,00	5,0	0,56	5,12	6,88	0,045
10	0,5	1,0	5,0	8,0	0,052	0,50	1,50	7,0	0,7	5.50	7,50	0,056
12	0,6	1,2	6,0	9,6	0,056	0,75	1,75	7,0	0,84	6,60	9,00	0,056
14	0,7	1,4	7,0	11,2	0,056	0,75	1,75	7,0	0,98	7,70	10,50	0,056
16	0,8	1,6	8,0	12,8	0,056	1,00	2,0	8,0	1,12	8,16	11,04	0,056
18	0,9	1,8	9,0	14,4	0,056	1,00	2,0	8,0	1,26	9,18	12,42	0,056
20	1,0	2,0	10,0	16,0	0,056	1,00	2,0	8,0	1,30	10,2	13,80	0,056
22	1,1	2,2	11,0	17.6	0,056	1,00	2,0	8,0	1,43	11,22	15,18	0,056
25	1,25	2,5	12,5	20,0	0,056	1,00	2,0	8,0	1,625	12,75	17,25	0,056
28	1,4	2,8	14,0	22,4	0,056	1,30	2,7	9,0	1,82	14.28	19,32	0,056
32	1,6	3,2	16,0	25,6	0,056	1,30	2,7	10,0	2,08	16,32	22,08	0,056
36	1,8	3,6	18,0	28,8	0,056	1,80	3,2	12,0	2,34	18,34	24,84	0,056
40	2,0	4,0	20,0	32,0	0,056	1,80	3,2	12,0	2,60	20,40	27,6	0,056

Примітка: t^* – номінальна величина t.

Величина *t* для кільцевого профілю наводиться в ГОСТ 5781 як номінальна, без нормування її мінімальних і максимальних значень, що дозволяє виробникам арматури змінювати її в широких межах і це, в свою чергу, призводить до більшої мінливості f_r для такого профілю і можливості суттєвого зменшення цього показника.

Мінімальний кут нахилу поперечних виступів β регламентується стандартами Німеччини, США, України (ДСТУ 3760), а також міжнародними стандартами ISO [106] і EN [38] в межах від 35° до 45°.

За ГОСТ 5781 величина кута нахилу поперечних ребер не нормується і теоретично може бути рівною 90°, але на практиці він складає 60–70°.

Для напружуваної арматури необхідна мінімальна розпірність профілю, щоб не відбувалось поздовжнього розколювання бетону при передаванні попереднього напруження, і навпаки – якомога менша довжина зони передавання попереднього напруження на бетон.

В результаті значної розклинюючої дії розпору при передаванні зусилля на бетон стержнів високоміцної сталі з профілем за ГОСТ 5781 поздовжні тріщини в бетоні утворюються при $\sigma_{con} \geq 50$ МПа [94, 126, 128]. Тому в торцях виробів, що виготовляються з натягуванням «на упори» арматурної сталі класів Ат800(Ат-V) – Ат1000(Ат-VI) досить часто спостерігаються поздовжні тріщини. Для компенсації цього необхідно використовувати додаткове конструктивне армування у вигляді сіток, каркасів, спіралей і т. д. Але це не запобігає утворенню тріщин, а лише перешкоджає їх розкриттю і розвитку по довжині виробу.

Перші відомості про поперечний тиск арматури на бетон, що є причиною розколювання бетону, зроблені на початку 60-х років минулого сторіччя [126, 127]. Встановлено, що тріщини з'являються при певному значенні взаємних зміщень арматури і бетону, і поширюються від кутів робочих площадок виступів, тобто від зони концентрації напружень.

Напрям поширення тріщин залежить від висоти поперечних виступів. Якщо виступи невисокі і площа зминання мала, то тріщини, що виникають, поширюються в поперечному напрямі (рис. 3.2 *а*). При збільшенні висоти виступів, збільшується площа зминання, а тріщини спрямовані ближче до осі стержня (рис. 3.2 *б*) і виникають раніше [127].

Новий профіль поперечних виступів чи їх похилий абрис призводить до великої кількості мілких тріщин локального характеру (рис. 3.2 *в, г*).

Таким чином, інтенсивність поперечного тиску арматури на оточуючий бетон залежить, в основному, від конструкції періодичного профілю, що підтверджується багатьма дослідженнями [52].

В 1985–1992 рр. в Радянському Союзі проведені комплексні дослідження впливу геометричних розмірів періодичного профілю на властивості арматурної сталі і її сумісну роботу з бетоном, на основі яких було визначено оптимальні розміри періодичного профілю і розпочато масове промислове виробництво арматури з серповидним профілем.

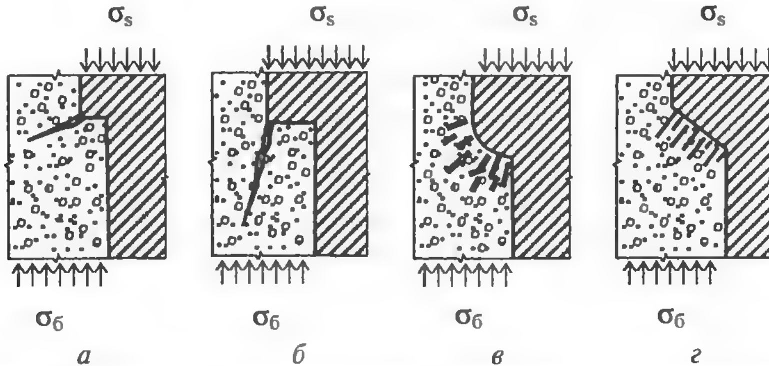


Рис. 3.2. **Характер утворення тріщин і їх розвиток під виступами арматури:**
а – при прямокутному виступі невеликої висоти; *б* – при прямокутному виступі великої висоти; *в* – при плавному (криволінійному) виступі; *г* – при похилому виступі

Відхилення за масою для арматури періодичного профілю наведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Допустимі відхилення за масою арматури періодичного профілю

За ГОСТ 5781		**За ДСТУ 3760**	
$d_н$	**граничні відхилення, %**	**$d_н$**	**допустимі відхилення, %**
6, 8	+9,0 -7,0	5,5; 6, 8,0	±8,0
10, 12, 14	+5,0 -6,0		
16, 18, 20, 22, 25, 28	+3,0 -5,0	10, 12, 14	±5,0
32, 36, 40, 45	+3,0 -4,0	16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40	±4,5
50, 55, 60, 70, 80	+2,0 -4,0		

Овальність стержнів, яка визначається як різниця між найбільшим і найменшим діаметрами у взаємо перпендикулярних напрямах одного перерізу, не повинна перевищувати:

– за ГОСТ 10884 і ГОСТ 5781 – суми плюсового і мінусового граничних відхилень за діаметром;

– за ДСТУ 3760 – $0{,}1d_н$.

Кривизна прутків, яка вимірюється на довжині прокату, що поставляється, але не менше 1 метру, не повинна перевищувати 0,6% вимірюваної довжини (ГОСТ 5781) або 6 мм на 1 метрі вимірюваної довжини (ДСТУ 3760).

3.2.2. Арматурний дріт і дротяні вироби

Арматурний дріт виготовляють гладкого та періодичного профілю. Холоднотягнутий дріт з низьковуглецевої сталі виготовляють тільки періодичного профілю класу Вр-І, номінальними діаметрами 3, 4, 5 мм. Високоміцний холоднотягнутий дріт з вуглецевої сталі (В-ІІ, Вр-ІІ) виготовляють діаметром від 3 до 8 мм гладкого та періодичного профілю.

Загальний вигляд профілю і позначення основних розмірів дроту наведені на рис. 3.3. Сортамент, площа поперечного перерізу і теоретична маса дроту і дротяних виробів наведені в табл. 3.8.

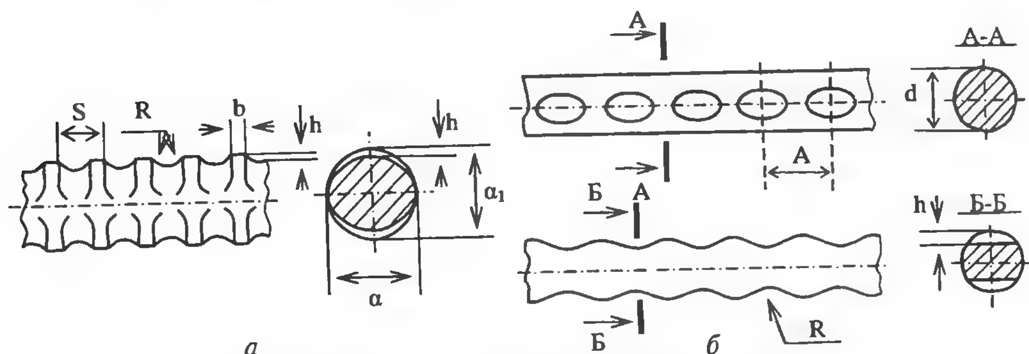


Рис. 3.3. **Профілі дроту для армування залізобетонних конструкцій:**
а – для звичайних конструкцій з низьколегованої сталі за ГОСТ 6727 (ВрІ); *б* – для попередньо напружених конструкцій за ГОСТ 7348 (ВрІІ)

Примітка. Стабілізований дріт виготовляють тільки круглим гладким.

Таблиця 3.8

Сортамент дроту і дротяної арматури

Номінальний діаметр, мм	Розрахункова площа поперечного перерізу, см²	Теоретична маса 1 м довжини, кг	Номінальний діаметр, мм	Розрахункова площа поперечного перерізу, см²	Теоретична маса 1 м довжини, кг
А. Арматурний дріт					
3	0,071	0,056	6	0,283	0,222
4	0,126	0,099	7	0,385	0,302
5	0,196	0,154	8	0,503	0,395
Б. Арматурні канати					
К-7			К-19		
6	0,23	0,184	14	1,287	1,010
9	0,53	0,419			
12	0,93	0,736			
15	1,39	1,099			

Примітки: 1. Розрахункова площа поперечного перерізу і теоретична маса 1000 мм дроту підраховані за номінальними діаметрами.

2. Маса прутка в кг підрахована за діаметром (номінальним діаметром) при густині сталі, що дорівнює 7,85 кг/дм³.

Номінальний діаметр дроту періодичного профілю відповідає діаметру круглого дроту до нанесення на його поверхню профілю

Основні параметри і розміри дроту Вр-І, за ГОСТ 6727, наведені в табл 3.9, а дроту В-ІІ і Вр-ІІ, за ГОСТ 7348 – в табл. 3.10.

Таблиця 3.9

Характеристика профілю дроту з низьколегованої сталі

Номінальний діаметр дроту	Номінальний розмір *a*	Граничні відхилення на розмір *a*	Глибина вм'ятин, *h*	Граничні відхилення глибини вм'ятин	Номінальний крок вм'ятин, *S*	Граничні відхилення кроку вм'ятин	Довжина виступу, *b*	Граничні відхилення довжини виступу
3,0	3,0	+0,03 -0,09	0,15	+0,05 -0,02	2,0	±0,2	0,6	±0,2
4,0	4,0	+0,04 -0,12	0,20	+0,05 -0,02	2,5		0,8	
5,0	5,0	+0,05 -0,15	0,25		3,0		1,0	

Примітки: 1. Радіус спряження поверхні вм'ятин з виступами *R* для дроту всіх діаметрів повинен дорівнювати (2,5±0,5) мм.

2. Різниця розмірів *a* і a_1 не повинна перевищувати поля допуску на розмір *a*.

Таблиця 3.10

Параметри профілю високоміцного дроту

Номінальний діаметр, $d_н$, мм	Дріт круглий і періодичного профілю			Дріт періодичного профілю		
	граничні відхилення			глибина вм'ятин, *h*, мм, не менше	крок вм'ятин, А	
	група 1	група 2	група 3		номінальний	граничні відхилення
3,0	±0,4	±0,6	-0,12	0,15	6,5	+0,5 -1,0
4,0	±0,4	±0,8	-0,16	0,19		
5,0	±0,5	±0,8	-0,16	0,24		
6,0	±0,5	±0,8	-0,16	0,30	7,0	
7,0	±0,5	±0,10	-0,20	0,35		
8,0	±0,6	±0,10	-0,20	0,40		

Примітка. Радіус циліндричної поверхні вм'ятин *R* для дроту всіх діаметрів класу Вр повинен дорівнювати 8±0,5 мм, допускається відносне зміщення діаметрально протилежних вм'ятин до 2 мм.

Овальність перерізу дроту не повинна перевищувати граничних відхилень за діаметром.

Високоміцний дріт (ГОСТ 7348) виготовляють з нормованими значеннями прямолінійності. Так, дріт вважають прямолінійним, якщо при вільному укладанні відрізка дроту діаметром 3,0 і 4,0 мм на площині він утворює сегмент з основою 1 м і висотою не більше 90 мм і висотою не більше 60 мм – для дроту діаметрів від 5,0 до 8,0 мм.

Дротяні вироби – арматурні канати, за конструкцією поділяють на три групи (рис. 3.4):

– канати однократного сукання, можуть бути круглими, трикутними і прямокутними; при суканні всі дротини, окрім центральної, набувають форму спіралі;

– канати подвійного сукання, вихідними елементами для їх виготовлення слугують спіральні канати, які можуть складатися з 3, 7, 19 і більше дротин;

– канати потрійного сукання, утворюються з канатів подвійного сукання; недоліком таких канатів є складність їх виготовлення.

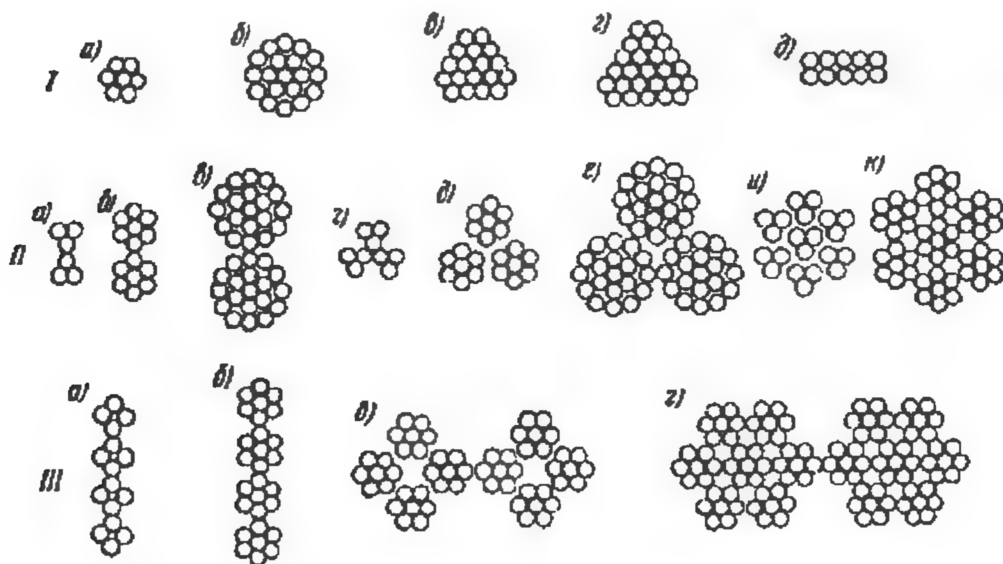


Рис. 3.4. **Конструкції арматурних канатів:**
I – канати однократного сукання (спіральні): *а, б* – круглі прядки 1 × 7 і 1 × 19; *в, г* – триграннi прядки 18- і 25-дротяні, *д* – прямокутна прядка;
II – канати подвійного сукання: *а, б, в* – двопряднкові канати 2 × 3, 2 × 7 і 2 × 19; *г, д, е* – трипрядкові канати 3 × 3, 3 × 7, 3 × 19; *и, к* – семипрядкові канати 7 × 3 і 7 × 7;
III – канати потрійного сукання: *а* – 2 × 2 × 4; *б* – 2 × 2 × 7; *в* – 2 × 4 × 7, *г* – 2 × 7 × 7

Найбільшого розповсюдження і використання набули канати однократного сукання з 7 та 19 дротин, які позначаються К-7 та К-19 відповідно. Такі канати складаються з однієї центральної дротинки, навколо якої звиті спіралі дротин в один ряд (6) чи в два ряди (18) (рис. 3.5).

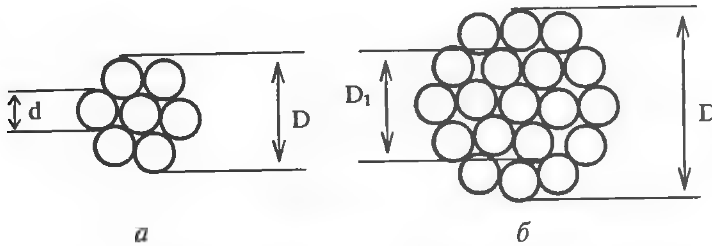


Рис. 3.5. **7-ми дротинковий (*а*) і 19-ти дротинковий (*б*) канати однократного сукання:** *d* – діаметр дротин, D_1 – умовний діаметр першого витка, *D* – умовний діаметр каната

На арматурні канати розповсюджується дія ГОСТ 13840 (К-7) і іншої нормативної документації.

Діаметри, площа поперечного перерізу і маса розповсюджених канатів наведена в табл. 3.8. Параметри канатів К-7 і розміри дротин, що складають канат, наведені в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Характеристика геометричних параметрів канатів

Діаметр каната, *D*, мм		Допустимі відхилення від номінального діаметра, мм	Діаметр дротинн каната, мм		Номінальна площа перерізу дротин каната, мм²	Номінальна маса 1 м довжини каната	Крок сукання каната, мм
умовний	номінальний		зовнішньої	центральної			
6,0	6,20	+0,15 -0,3	2,05	2,10	23	0,184	(12 – 16)*D*
9,0	9,35		3,10	3,15	53	0,419	
12,0	12,40	+0,2 -0,4	4,10	4,20	93	0,736	
15,0	15,20		5,00	5,20	139	1,099	

Примітка. Допускається зміна діаметрів дротин, які складають канат, в межах ±0,1 мм, при цьому діаметр каната не повинен виходити за межі, встановлені в таблиці.

Канати виготовляють правого звивання з лінійним дотиком дротин які не повинні розкручуватися.

Висуваються вимоги до прямолінійності канатів. Канати вважають прямими, якщо відрізок каната довжиною не менше 1,3 м при вільному укладанні на площині утворює сегмент з основою 1 м і висотою не більше 75 мм. На вимогу споживача висота сегмента може бути не більше 25 мм.

В канатах не повинно бути обірваних, перекручених і виступаючих, за границі встановлених допусків за діаметром каната, дротин.

3.3. Загальні технічні вимоги до арматурного прокату

3.3.1. Хімічний склад арматурної сталі

Хімічний склад арматурного прокату повинен відповідати вимогам нормативної документації. За ДСТУ 3760 масові частки хімічних елементів у сталі за ковшовою пробою повинні відповідати наведеним в табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Масова доля хімічних елементів в готовому прокаті за ДСТУ 3760

<table>
<tr><th rowspan="2">Клас арматурного прокату</th><th colspan="5">Масова доля, %, не більше</th></tr>
<tr><th>C</th><th>Si</th><th>Mn</th><th>P</th><th>S</th></tr>
<tr><td>A240C</td><td>0,22</td><td>–</td><td>–</td><td rowspan="6">0,045</td><td>0,045</td></tr>
<tr><td>A400C</td><td rowspan="2">0,25</td><td rowspan="2">–</td><td rowspan="2">–</td><td rowspan="2">0,050</td></tr>
<tr><td>A500C</td></tr>
<tr><td>A600</td><td rowspan="5">0,37</td><td rowspan="3">1,00</td><td rowspan="3">1,60</td><td rowspan="3">0,045</td></tr>
<tr><td>A600C</td></tr>
<tr><td>A600K</td></tr>
<tr><td>A800</td><td rowspan="3">2,40</td><td rowspan="3">2,30</td><td rowspan="3">0,040</td><td rowspan="3">0,040</td></tr>
<tr><td>A800K</td></tr>
<tr><td>A1000</td><td>0,32</td></tr>
</table>

Примітки. 1. Для прокату всіх класів масова доля азоту в сталі повинна бути не більше 0,012%, миш'яку – не більше 0,08%.

2. Для сталі, яка вміщує не менше ніж 0,020% алюмінію і титану, що вводять у сталь за розрахунком не більше ніж 0,030%, масова частка азоту не обмежується.

3. Збільшення масової частки вуглецю до 0,37% (з урахуванням граничного відхилення) для прокату класів A400C і A500C не є бракувальною ознакою за умови дотримання вимог до зварюваності і механічних властивостей.

Стандарт [37] нормує граничні відхилення хімічного складу у готовому прокаті (табл. 3.13) від норм, наведених в табл. 3.12.

Таблиця 3.13

Відхилення вмісту хімічних елементів в готовому прокаті

ДСТУ 3760		ГОСТ 5781		ГОСТ 10884	
Хімічний елемент	**Граничні відхилення, %**	**Хімічний елемент**	**Граничні відхилення, %**	**Хімічний елемент**	**Граничні відхилення, %**
Вуглець	+0,020	Вуглець	+0,030	Вуглець	+0,020
Марганець	+0,100	Кремній	+0,050	Марганець	+0,100
Кремній	+0,100	Марганець	+0,100	Кремній	±0,100
Сірка	+0,005	Хром	+0,050	Сірка	+0,005
Фосфор	+0,005	Мідь	+0,050	Фосфор	+0,005
Азот	+0,001	Сірка	+0,005		
		Фосфор	+0,005		
		Цирконій	+0,010 -0,020		
		Титан	±0,010		

Гарячекатану арматурну сталь за ГОСТ 5781 виготовляють з вуглецевої і низьколегованої сталі марок, вказаних в додатку В. Хімічний склад вуглецевих сталей відповідає ДСТУ 2651 (табл. 2.2). Нормовані значення масової долі елементів в низьколегованих сталях наведені в табл. 3.14.

Таблиця 3.14

Масова доля хімічних елементів низьколегованих сталей

<table>
<tr><th rowspan="3">Марки сталі</th><th colspan="10">Масова частка, %</th></tr>
<tr><th rowspan="2">C</th><th rowspan="2">Mn</th><th rowspan="2">Si</th><th rowspan="2">Cr</th><th rowspan="2">Ti</th><th rowspan="2">Zr</th><th rowspan="2">Al</th><th>Ni</th><th>S</th><th>P</th></tr>
<tr><th colspan="3">не більше</th></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr>
<tr><td>10ГТ</td><td>не більше 0,13</td><td>1,00–1,40</td><td>0,45–0,65</td><td rowspan="3">не більше 0,30</td><td>0,015–0,035</td><td>–</td><td>0,02–0,05</td><td>–</td><td>0,040</td><td>0,030</td></tr>
<tr><td>18Г2С</td><td>0,14–0,23</td><td>1,20–1,60</td><td>0,60–0,90</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td rowspan="2">0,30</td><td>0,045</td><td>0,040</td></tr>
<tr><td>32Г2Рпс</td><td>0,28–0,37</td><td>1,30–1,75</td><td>не більше 0,17</td><td>–</td><td>–</td><td>0,001–0,015</td><td>0,050</td><td>0,045</td></tr>
</table>

Закінчення таблиці 3.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
35ГС	0,30–0,37	0,80–1,20	0,60–0,90	не більше 0,30	–	–	–	0,30	0,045	0,040
25Г2С	0,20–0,29	1,20–1,60	0,60–0,90		–	–	–		0,045	0,040
20ХГ2Ц	0,19–0,26	1,50–1,90	0,40–0,70	0,90–1,20	–	0,05–0,14	–		0,045	0,045
80С	0,74–0,82	0,50–0,90	0,60–1,10	не більше 0,30	0,015–0,040	–	–		0,045	0,040
23Х2Г2Т	0,19–0,26	1,40–1,70	0,40–0,70	1,35–1,70	0,02–0,08	–	0,015–0,050		0,045	0,045
22Х2Г2АЮ	0,19–0,26	1,40–1,70	0,40–0,70	1,50–2,10	0,005–0,030	–	0,02–0,07		0,040	0,040
22Х2Г2Р	0,19–0,26	1,50–1,90	0,40–0,70	1,50–1,90	0,02–0,08	–	0,015–0,050	0,30	0,040	0,040
20Х2Г2СР	0,19–0,26	1.40–1,80	0,75–1,55	1,40–1,80	0,02–0,08	–	0,015–0,050		0,040	0,040

Примітки. 1. Масова частка міді в сталях всіх марок – 0,30%.

2. В сталі марки 20ХГ2Ц допускається збільшення масової частки хрому до 1,70% і замінення цирконію на 0,02–0,08% титану. В такому випадку в позначенні сталі марки 20ХГ2Ц літеру Ц замінюють літерою Т.

3. В сталі марки 23Х2Г2Т допускається замінення титану на цирконій в кількості 0,05–0,10%. Відповідно, в позначенні марки сталі літеру Т замінюють на Ц.

4. В сталі марки 32Г2Рпс допускається замінення алюмінію титаном чи цирконієм в рівних одиницях.

5. Масова частка азоту в сталі марки 22Х2Г2АЮ повинна складати 0,015–0,030%, масова доля залишкового азоту в сталі марки 10ГТ – не більше 0,008%.

6. Масова доля бору в сталі марок 22Х2Г2Р, 20Х2Г2СР, 32Г2Рпс повинна бути в межах 0,001–0,007%. В сталі марки 22Х2Г2АЮ допускається добавка бору в кількості 0,001–0,008%.

7. Допускається добавка титану в сталь марок 18Г2С, 25Г2С, 35ГС з розрахунку його масової частини в готовому прокаті 0,01–0,03%, в сталь марки 35ГС з розрахунку його масової частки в готовому прокаті, що виготовлений в мотках – 0,01–0,06%.

Відхилення хімічного складу в готовому прокаті для вуглецевих, за ДСТУ 2651 [35], і для низьколегованих сталей, при дотриманні норм механічних властивостей, відповідає даним табл. 3.13. Мінусові відхилення за вмістом елементів (окрім титану і цирконію, а для марки сталі 20Х2Г2СР – кремнію) не обмежуються.

Термомеханічно зміцнена сталь за ГОСТ 10884, також виготовляється з вуглецевої і низьколегованої сталі, марок за додатком В, з масовою част-

кою хімічних елементів за ковшовою пробою, згідно табл. 3.15. Граничні відхилення хімічного складу в готовому прокаті, від встановлених нормативною документацією [71], повинні відповідати наведеним в табл. 3.13.

Таблиця 3.15

Вміст хімічних елементів за ковшовою пробою в термомеханічно зміцненій сталі

<table>
<tr><th rowspan="3">Клас арматурної сталі</th><th colspan="5">Масова доля хімічних елементів, %</th></tr>
<tr><th rowspan="2">C, не більше</th><th rowspan="2">Mn</th><th rowspan="2">Si</th><th>S</th><th>P</th></tr>
<tr><th colspan="2">не більше</th></tr>
<tr><td>Ат400С</td><td>0,24</td><td rowspan="2">0,5–1,5</td><td rowspan="2">не більше 0,65</td><td rowspan="4">0,045</td><td rowspan="4">0,045</td></tr>
<tr><td>Ат500С</td><td rowspan="3">0,32</td></tr>
<tr><td>Ат600С, Ат600К, Ат800,Ат800К, Ат1000, Ат1000К</td><td>0,6–2,3</td><td>0,6–2,4</td></tr>
<tr><td>Ат1200</td><td>0,6–1,0</td><td>1,5–2,3</td></tr>
</table>

Примітки. 1. Для арматурної сталі класів Ат400С і Ат500С при забезпеченні механічних властивостей і зварюваності допускається масова доля кремнію до 1,2%.

2. Для отримання арматурної сталі класу Ат500С допускається масова доля вуглецю не більше 0,37%.

Дріт класу Вр-I, за ГОСТ 6727, виготовляють з катанки, виготовленої з низьковуглецевої сталі за ОСТ 14-15-193-86. Дріт класів В-II і Вр-II, за ГОСТ 7348 для попередньо напружуваних арматурних виробів виготовляють з вуглецевої сталі марок 65, 70, 75, 80, 85 за ГОСТ 14959, хімічний склад сталі за плавковим аналізом повинен відповідати нормам, наведеним в табл. 3.16. Масова доля фосфору і сірки за плавковим аналізом в сталі всіх марок не повинна перевищувати норм, вказаних в табл. 3.17, допустимі відхилення за хімічним складом в готовому прокаті не повинні перевищувати значень, наведених в табл. 3.18.

Сталеві арматурні канати (1 × 7, 1 × 19) виготовляють з сталевого дроту марок 70, 75, 80 і 85 за ГОСТ 14959 (табл. 3.16).

Таблиця 3.16

Вміст хімічних елементів в вуглецевій сталі, призначеної для виготовлення дроту для попередньо напружуваних виробів

<table>
<tr><th rowspan="2">Марка сталі</th><th colspan="4">Масова частка хімічних елементів, %</th></tr>
<tr><th>C</th><th>Si</th><th>Mn</th><th>Cr</th></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr>
<tr><td>65</td><td>0,62–0,70</td><td>0,17–0,37</td><td>0,50–0,80</td><td rowspan="2">не більше 0,25</td></tr>
<tr><td>70</td><td>0,67–0,75</td><td>0,17–0,37</td><td>0,50–0,80</td></tr>
</table>

Закінчення таблиці 3.16

1	2	3	4	5
75	0,72–0,80	0,17–0,37	0,50–0,80	не більше 0,25
80	0,77–0,85	0,17–0,37	0,50–0,80	
85	0,82–0,90	0,17–0,37	0,50–0,80	

Примітка. В сталях всіх марок масова частка залишкової міді не повинна перевищувати 0,20%, а залишкового нікелю – 0,25%.

Таблиця 3.17

Вміст фосфору і сірки в вуглецевих сталях марок 65, 70, 75, 80, 85

Клас сталі	Масова частка хімічних елементів, %, не більше	
	фосфор	сірка
Якісна	0,035	0,035
Високоякісна	0,025	0,025

Таблиця 3.18

Граничні відхилення хімічного складу вуглецевих сталей в готовому прокаті

Найменування елементів	Допустимі відхилення, %
Вуглець	±0,010
Кремній	±0,020
Марганець	±0,020
Хром	±0,020
Фосфор	±0,005

Примітка. Для високоякісних сталей відхилення вмісту фосфору не допускаються.

Згідно ТУ У 27.1-4-551-2003 «Прокат арматурний класу А550С для залізобетонних конструкцій» хімічний склад сталі прокату класу А550С повинен відповідати даним, наведеним в табл. 3.19.

Відхилення в хімічному складі готового прокату повинні відповідати вимогам ДСТУ 3760 (табл. 3.13).

Таблиця 3.19

Хімічний склад сталі класу А550С

В відсотках

Клас прокату	C	Mn	Si	P	S	N	As
А550С	в межах чи не більше						
	0,2–0,28	1,5	0,15	0,045	0,05	0,012	0,08

3.3.2. Механічні властивості арматурних сталей

Гарячекатана сталь. Першим і до останнього часу самим масовим видом арматури залізобетонних конструкцій є гарячекатана сталь.

Спочатку гарячекатану арматуру виготовляли тільки зі сталі марок Ст0 і Ст3. До 1950 р гладка арматура класу **А-І(А240)** була єдиним видом стержньової арматури залізобетонних конструкцій [1, 66, 79, 104].

Механічні властивості гарячекатаної вуглецевої арматурної сталі класів А-І(А240) і А-ІІ(А300) діаметром 6–40 мм регламентуються ГОСТ 5781, сталі класів А240С діаметром 5,5–40 мм – ДСТУ 3760 (табл. 3.20).

Сталь діаметром 6–8 мм використовують, як правило, у вигляді конструктивної арматури залізобетонних конструкцій. Для цих випадків доцільна заміна стержнів діаметром 6,0 мм на діаметр 5,5 мм, що забезпечує економію 19% сталі при збереженні такої ж агрегатної міцності прутка.

Діаграма розтягування (рис. 3.6) арматурної сталі класу А240 (А-І(А240), А240С), що поставляється в прутках, характеризується значною площадкою текучості (ε_s до 3%) і величиною рівномірного відносного подовження, δ_p, від 18 до 28%. Арматура діаметром 6–10 мм, що поставляється в бунтах, за такої ж великої пластичності, не має явно вираженої площадки текучості. В більшості випадків площадка текучості утворюється після правлення і старіння сталі в процесі виготовлення і експлуатації залізобетонних конструкцій [33, 54, 56, 58, 63].

Арматурна сталь класу А240 (А-І(А240), А240С) марок Ст3сп і Ст3пс має високу локальну пластичність при згинанні. В 100% випадків зразки цієї сталі (А-І(А240)) витримують, нормоване ГОСТ 5781, загинання до 180° при діаметрі оправки $1{,}0d_н$, а прутки класу А240С – при діаметрі оправки $0{,}5d_н$.

Для оцінки поведінки арматури при низьких температурах і складних умовах експлуатації, необхідно враховувати всі фактори, в тому числі: стабільність технології виробництва та системи контролю і нормування властивостей готової продукції, вид поверхні арматурних прутків (гладка або періодичного профілю), характеристики пластичності при розтягуванні і згинанні та і їх стабільність, як у вихідному стані, так і після переробки, в тому числі зварювання.

Таблиця 3.20

Механічні характеристики арматурного прокату

Нормативний документ	Клас арматурного прокату	Температура електронагрівання, °С	Механічні властивості, не менше					Випробування на згинання	
			тимчасовий опір, $\sigma_в$, МПа	фізична (умовна) границя текучості, $\sigma_т (\sigma_{0,2})$, МПа	відносне подовження, %			в холодному стані, кут загину, град.	діаметр оправки, виражений в $d_н$ (номінальний діаметр)
					після розриву, δ_5	рівномірне після розриву, $\delta_р$	повне при максимальному навантаженні, δ_{max}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ДСТУ 3760	А240С	–	370	240	25	–	–	180	0,5$d_н$
	А400С		500	400	16		5	90	3,0$d_н$
	А500С		600	500	14				
	А600 А600С А600К	400	800	600	12	4		45	5,0$d_н$
	А800 А800К А800СК		1000	800	8	2	3,5		
	А1000	450	1250	1000	7				
ГОСТ 5781	А-I (А240)		373	235	25	–		180	$d_н$
	А-II (А300)		490	295	19				3$d_н$
	Ас-II (Ас300)		441	295	25				$d_н$
	А-III (А400)		590	390	14			90	3$d_н$
	А-IV (А600)		883	590	6	2		45	5$d_н$
	А-V (А800)		1030	785	7				
	А-VI (А1000)		1230	980	6				
ГОСТ 10884	Ат400	–	550	440	16	–		90	3$d_н$
	Ат500		600	500	14				
	Ат600	400	800	600	12	4		45	5$d_н$
	Ат800		1000	800	8	2			
	Ат1000	450	1250	1000	7				
	Ат1200		1450	1200	6				
ТУ У 27.1-4-551-2003	А550С	400	720	550	14	–	5	90	3,0$d_н$

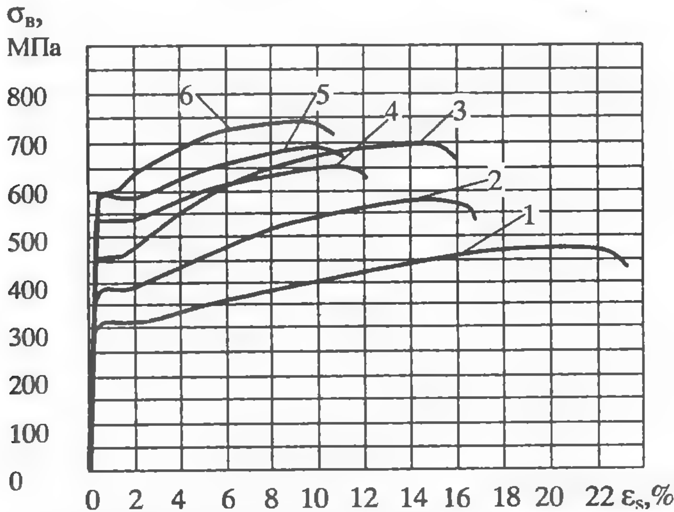


Рис. 3.6. **Середньостатистичні діаграми розтягування арматурної сталі різних класів міцності для звичайного залізобетону:**
1 – А240(А-І) марки Ст3; 2 – А300(А-ІІ) марки Ст5; 3 – А400(А-ІІІ) марки 35ГС; 4 – А400С марки Ст3; 5 – А500С марки Ст3; 6 – А500(Ат-ІІІС) марки Ст5

За цими показниками арматура класу А240 (А-І(А240), А240С) зі сталі марки Ст3сп і Ст3пс має наглядні переваги. Завдяки високим пластичним властивостям і гладкій поверхні, ця арматура в меншій мірі схильна до крихкості при згинанні. Тому СНиП 2.03.01 рекомендує використовувати її для монтажних петель і допускає експлуатацію при низьких мінусових температурах. При будівництві в районах з розрахунковою зимовою температурою нижче -40°С для монтажних петель слід використовувати тільки сталь марки Ст3сп.

В 1950 р в країні було опановано промислове виробництво стержньової арматури періодичного профілю класу **А-ІІ(А300)** з гарячекатаної сталі марки Ст5 [79, 80].

Спочатку така арматура випускалась діаметром 12–32 мм, в подальшому з цієї сталі виготовлялись стержні діаметром 36–90 мм для армування масивних гідротехнічних споруд і промислових об'єктів. Пізніше для стержнів великих діаметрів була розроблена спеціальна низьколегована сталь марка 18Г2С, яка забезпечувала необхідні міцносні показники, добру зварюваність, пластичність і несхильність до крихкого руйнування.

Арматура класу А-ІІ(А300) діаметром 10–40 мм виготовлялась з вуглецевої сталі марки Ст5 (додаток В), а діаметром 40–80 мм з низьколегованої сталі марки 18Г2С. Нормативні значення тимчасового опору, границі текучості і відносного подовження для цього класу арматурного

прокату наведені в табл. 3.20. Ймовірність забезпечення механічних показників не менше 0,95. Низьколегована арматурна сталь марки 18Г2С класу А-II(А300) призначена для гідротехнічного будівництва (діаметр 40–80 мм). В сортаменті 6–18 мм сталь марки 18Г2С має, як правило, механічні властивості класу А400С і, завдяки низькому вмісту вуглецю, не має обмежень за умовами використання.

Для залізобетонних конструкцій, що експлуатуються в особливих умовах (в районах з розрахунковою температурою нижче мінус 30°С, при дії динамічних, ударних і сейсмічних навантажень), а також конструкцій, розрахованих на витривалість, була розроблена і випускалась гарячекатана низьколегована сталь класу Ас-II(Ас300) марки 10ГТ, що мала добру зварюваність і не схильна до крихкого руйнування.

Для цієї сталі нормативні характеристики механічних властивостей відрізняються від вуглецевої сталі і встановлені ГОСТ 5781 (табл. 3.20). Додатково нормується її ударна в'язкість при температурі -60°С, яка повинна бути не менше 0,5 М · Дж/м^2 або 5 кгс · м/см^2. Специфікою механічних властивостей низьколегованої сталі з малим вмістом вуглецю є те, що співвідношення $\sigma_в/\sigma_т$ суттєво нижче, ніж вуглецевої сталі. Тому, ГОСТ 5781 допускає можливість зниження її тимчасового опору $\sigma_в$ до 435 МПа при збільшенні відносного подовження $\delta_5 \geq 30\%$.

Діаграма розтягування арматурної сталі класу А-II(А300) всіх видів, що поставляється в прутках, характеризується наявністю чіткої площадки текучості довжиною 0,5–2,5% ε_s для сталі марки Ст5 (рис. 3.6) і до 3% ε_s для сталі марок 10ГТ і 18Г2С.

Арматурна сталь класу А-II(А300) марок Ст5 і 18Г2С практично в усіх випадках витримує згинання на 180° при діаметрі оправки 3$d_н$. Сталь класу Ас-II(Ас300) марки 10ГТ більш пластична і в 100% випадків згинається до 180° навколо оправки діаметром 1,0$d_н$.

З 1988 р., рішенням Х Всесоюзної конференції по залізобетону (м. Казань), почали скорочувати сортамент стержньової арматури періодичного профілю за рахунок ліквідації класу А-II(А300). Останнім часом і в усіх розвинених країнах сталь класу А-II знята з виробництва, як малоефективна і замінена на більш міцні види арматури класів А500 чи А400.

У 1956 р було розпочато виробництво і використання гарячекатаної арматури марки 25Г2С класу **А-III(А400)**. Але через дефіцитність і високу вартість легуючих елементів її випускали в невеликій кількості, приблизно 15–30% від потреби в арматурі цього класу міцності. В 1960 р було розпочато масове промислове виробництво більш економічної сталі цього класу міцності марки 35ГС [79, 90, 104].

Гарячекатана низьколегована сталь класу АIII(А400) марок 35ГС і 25Г2С з границею текучості $\sigma_т \geq 400$ МПа, за ГОСТ 5781, протягом бага-

тьох років, з 1961 року по 1998 рік, була основним видом арматури для звичайного бетону. Зараз, згідно ДСТУ 3760, арматурний прокат класу А400С виготовляють гарячекатаним із сталі марки 35ГС, також прокат цього класу виготовляють термомеханічним зміцненням зі сталі марок Ст3 і Ст5 (додаток В).

Гарячекатана арматурна сталь класу А400 марок 25Г2С і 35ГС характеризується стабільними і однорідними механічними властивостями (табл. 3.9). Забезпеченість показників механічних властивостей кожної партії складає 0,95–0,98 [37, 52].

ГОСТ 5781 допускає можливість зниження тимчасового опору сталі класу А-III(А400) до 570 МПа при границі текучості $\sigma_т \geq 400$ МПа і відносному подовженні $\delta_5 \geq 20\%$.

Діаграма розтягування гарячекатаної сталі класу А400 (А-III(А400), А400С) діаметром 10–40 мм, що поставляється у вигляді прямолінійних прутків, характеризується, як і інші види гарячекатаної сталі, наявністю площадки текучості довжиною 0,5–1,5% ε_s (рис. 3.6), значним рівномірним подовженням δ_p (від 5 до 20%) і середнім співвідношенням $\sigma_в/\sigma_т$ від 1,47 для сталі 25Г2С до 1,52 для сталі 35Г2С.

Пластичність при згинанні цієї арматури помітно нижче, ніж сталі класів А240 і А300. ГОСТ 5781 і ДСТУ 3760 регламентують кут загинання до 90° при діаметрі оправки $3d_н$. Прийняті в закордонних стандартах випробування на згинання до 90° з наступним старінням і розгинанням до 20°, ввійшли і в український стандарт – ДСТУ 3760. Передбачається проведення таких випробувань не тільки для прокату класу А400С, а і для класу А500С. Діаметр оправки визначається діаметром стержнів ($d_н$) і наведений в табл. 3.21.

Таблиця 3.21

Діаметр оправки при випробуванні прокату на згинання з розгинанням

Номінальний діаметр арматурного прокату, $d_н$, мм	**6, 8, 10, 12**	**16**	**20, 22, 25**	**28, 32, 36, 40**
Діаметр оправки, D	$5d_н$	$6d_н$	$8d_н$	$10d_н$

Практично вся арматура залізобетонних конструкцій при виготовленні арматурних виробів може піддаватись зварюванню. Дослідження впливу зварювання на підвищення схильності до крихкого руйнування [90, 104] показали, що зварні опіки підвищують схильність сталі Ст5 і 35ГС до крихких руйнувань. В цих сталях на ділянках опіку феритно-перлітна структура перетворюється в крихку троостито-мартенситну, що інтенсифікує руйнування.

Високий вміст вуглецю і схильність до крихкості в місці зварних опіків дозволяють вважати сталь 35ГС також, як і сталь марки Ст5, обмежено зварюваною. В СНиП 2.03.01 прийняті обмеження для сталі 35ГС в залежності від характеру діючих навантажень, розрахункової температури експлуатації і наявності зварних з'єднань.

Діаметр стержньової арматури класу А400 в межах 12–40 мм не впливає на механічні властивості сталі в стані поставки, тому що виробник спеціально регулює хімічний склад так, щоб отримати однакові механічні властивості для всіх діаметрів арматури.

Бунтова арматура діаметром 6–8 мм характеризується значною мінливістю механічних властивостей по бунту. Це пов'язано з різними умовами охолодження зовнішніх і внутрішніх витків в бунті. Спроби збільшення вмісту легуючих добавок і підстужування перед змотуванням до температур 750–800°С не дали позитивних результатів. Тому необхідні показники механічних властивостей цього виду прокату досягаються лише після правлення.

Одним з варіантів забезпечення механічних показників бунтової арматури було використання напівспокійної сталі 32Г2Рпс з підвищеним вмістом марганцю.

Механічні властивості гарячекатаної сталі класу А400 (А-ІІІ(А400), А400С) можуть змінюватись в часі. Як правило, після вилежування при температурах вище нуля протягом від 8 годин до 8 діб, спостерігається деяке підвищення відносного подовження – δ_5. При цьому значення $\sigma_в$ і $\sigma_т$ практично не змінюються [52]. За даними [90] δ_5 в цей період може збільшуватись в 1,5–2,0 рази. Влітку це непомітно для споживача, так як до моменту доставки металу ефект вилежування проходить. В зимовий час цей процес уповільнюється і зміна властивостей сталі відбувається при зберіганні її в теплому приміщенні.

Виробництво і використання арматурної сталі класу **A-IV(A600)** з умовною границею текучості $\sigma_{0,2} \geq 600$ МПа і тимчасовим опором $\sigma_в \geq 900$ МПа розпочато в 1956 р. Спочатку гарячекатана арматурна сталь цього класу розроблялась і використовувалась тільки як напружувана арматура попередньо-напружених залізобетонних конструкцій і була в 50–60 роках самим високоміцним видом напружуваної стержньової арматури [58, 79]. Одночасно в зв'язку з постійним дефіцитом арматури класу A-IV, особливо діаметром 20–32 мм, в будівництві широко використовувалась напружувана арматура класу А-ІІІв(А550в), зміцнення витягуванням якої здійснювалось безпосередньо на підприємствах будіндустрії [1, 7, 59, 67, 113]. Пізніше в 70–80 роках, після розробки і опанування масового виробництва і використання високоміцної арматурної сталі класів A-V(A800), Ат-V (Ат800) і Ат-VI (Ат1000) і розвитку виробництва високо-

міцного арматурного дроту і канатів, вагомість арматури класу А-IV(А600), тільки як напружуваної, суттєво зменшилась [52].

Першою сталлю класу А-IV(А600) була 30ХГ2С [29, 79, 104], що використовувалась протягом восьми років. Однак, металургам не вдалось досягти стабільності механічних характеристик такої арматури через високу чутливість сталі до коливань вмісту хімічних елементів, умови охолодження і зміну діаметра стержнів. Тому сталь цієї марки була знята з виробництва і замінена сталлю інших марок. Крім того, ця арматурна сталь мала низьку пластичність і обмежену зварюваність.

В зв'язку з цим подальші дослідження були направлені на створення і впровадження напружуваної арматурної сталі класу А-IV(А600) двох видів:

– економічної, з підвищеним вмістом вуглецю і зменшеним – легуючих елементів (тобто, технічно простої і дешевої, але обмежено зварюваної);

– зварюваної, з меншим, у порівнянні з 30ХГ2С, вмістом вуглецю, леговану додатково манганом, хромом, титаном і іншими елементами.

Зараз, згідно ГОСТ 5781, арматуру класу А-IV(А600) виготовляють з низьколегованих сталей марок 80С діаметром 10–18 мм і 20ХГ2Ц діаметром 10–32 мм (додаток В). ДСТУ 3760 рекомендує виготовляти арматурний прокат із сталі інших марок, враховуючи його службові властивості, з низьколегованих сталей, наведених в додатку В. Ця різниця також пов'язана з передбаченою технологією виготовлення сталей. Так, за ГОСТ 5781 арматурну сталь класів А-I(А240), А-II(А300), А-III(А400), А-IV(А600) виготовляють гарячекатаною, клас А-V(А800) – з низькотемпературним відпуском, клас А-VI(А1000) – з низькотемпературним відпуском чи термомеханічною обробкою при прокатуванні. ДСТУ 3670 регламентує гарячекатану обробку тільки для класів А240С і А400С (марки 35ГС), для всіх інших класів, в тому числі і А400С, передбачається термомеханічне зміцнення.

Нормовані механічні властивості для сталі А-IV(А600), А600, А600С і А600К наведені в табл. 3.20. Згідно ДСТУ 3760 для прокату класів А600С і А600К випробування на згинання може бути замінено випробуванням на згинання з розгинанням при однаковому куті загину [37].

В процесі попереднього напруження напружувана арматура розтягується до напружень від 0,6 до 0,9 від її границі текучості, нагрівається при електротермічному способі натягу до 350–450°С, остигає, а потім тривалий час в процесі термовологої обробки бетону нагрівається і остигає разом з ним. Все це призводить до змінення механічних властивостей, а в ряді випадків і довготривалої міцності напружуваної арматури [52].

В зв'язку з цим необхідно розрізняти механічні властивості і діаграму умовно-миттєвої деформації сталі в вихідному стані (стані поставки) і після попереднього напруження і дії технологічних факторів виготовлення залізобетонних конструкцій.

Напружувану стержньову арматурну сталь марки 80С створювали, як більш економічний вид сталі з підвищеним вмістом вуглецю. Така сталь є не зварюваною і її можна використовувати в попередньо напружених конструкціях, для яких стержні арматури поставляються і використовуються в мірних довжинах без зварювання. В зв'язку з відносно високим вмістом вуглецю час виплавляння цієї сталі скорочується, а легуючих елементів в ній менше ніж в інших сталях класу A-IV(A600), тому собівартість сталі марки 80С значно нижча собівартості напружуваної стержньової арматури інших видів.

За структурою сталь 80С являє собою тонкопластинчатий перліт без ділянок мартенситного і бейнітного походження [28, 29, 53]. Присадки титану (0,03–0,04%) сприяють зменшенню зерна в гарячекатаному стані і підвищенню характеристик опору пластичній деформації, зокрема $\sigma_{0,2}$.

Арматурна сталь 80С діаметром 12–16 мм в стані поставки повністю відповідає вимогам ГОСТ 5781 до механічних властивостей арматурної сталі класу A-IV(A600), наведених в табл. 3.20. Сталь має високу однорідність властивостей, що характеризується коефіцієнтами варіацій величин $\sigma_в$, $\sigma_{0,2}$ і δ_5, які відповідно дорівнюють 4,7; 7,44 і 19,4%. Тимчасовий опір сталі 80С, як правило, більше 1000 МПа, співвідношення $\sigma_{0,2}/\sigma_в$ і $\sigma_{0,02}/\sigma_{0,2}$ в середньому складає відповідно 0,615 і 0,8 і змінюється в межах: перше – 0,59–0,64, друге – 0,75 і 0,9 [52]. Початковий модуль пружності E_s сталі 80С в середньому складає $2{,}06 \cdot 10^5$ МПа. Кут згинання навколо оправки діаметром $5d_н$ для арматури діаметром 12 і 14 мм складає 140–180°, а для зразків діаметром 16, 25 і 32 мм – 38–180° і значно змінюється за довжиною прутка [19, 20, 28, 52]. Ударна в'язкість сталі 80С низька: при температурі 20°С – від 0,13 до 0,26 М · Дж/м^2, а при температурі мінус 30°С – від 0,06 до 0,08 М · Дж/м^2.

Ця сталь чутлива до концентраторів напружень у вигляді надрізів глибиною 0,05d і опіків на поздовжніх ребрах від електричної дуги [78]. Пониження температури при випробуванні на розтягування від +20 до -40°С супроводжується зменшенням $\delta_р$ майже в 10 разів і помітним зниженням $\sigma_в$. Тому сталь 80С не рекомендується для використання в конструкціях, що експлуатуються на відкритому повітрі, і в неопалювальних приміщеннях при температурі нижче -30°С.

Сталь марки 80С, завдяки стійкій і дрібнодисперсній структурі, має відносно високу стійкість проти корозійного розтріскування під напругою, що відповідає розрахунковим значенням. Тому її рекомендують для використання як напружувану арматуру попередньо напружених залізобетонних конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах. Поряд з тим, через погану зварюваність [20, 79], недостатню пластичність і міцність при низьких мінусових температурах, галузь використан-

ня арматурної сталі марки 80С обмежується використанням її у вигляді прутків діаметром 10–18 мм мірних довжин в попередньо напружених залізобетонних виробах до 12 м. У випадку необхідності стикування стержнів немірних довжин цієї сталі рекомендується використовувати спосіб опресування втулок або муфтові з'єднання.

Досліди впливу легуючих добавок на зварюваність різних за складом сталей з механічними властивостями, що відповідають вимогам ГОСТ 5781 до арматурної сталі класу А-IV(А600), показали, що задовільну зварюваність в поєднанні з необхідною міцністю, мають хромо-мангановисті сталі з вмістом вуглецю 0,20–0,28% [5, 29, 52]. Це дозволило створити зварювану гарячекатану арматурну сталь класу А-IV(А600) декількох марок: 20ХГ2Ц, 20ГСТ, 20ХГ2Т і 20ХГ2Ф, що відрізняються від 30ХГ2С зменшеним вмістом вуглецю і модифікованими добавками титана, цирконію чи ванадію.

Зменшення, у порівнянні з вмістом в сталі 30ХГ2С, кількості вуглецю в цих сталях компенсується більшою витратою мангану чи кремнію і введенням, вказаних вище модифікуючих добавок, які, поряд зі збільшенням відносного подовження при розриві δ_5 і δ_p, сприяють певному покращенню в гарячекатаному стані характеристик опору сталі пластичному деформуванню $\sigma_{0,02}$ і $\sigma_{0,2}$ і прискорюють процеси зміни властивостей сталі в процесі «вилежування». Це пояснюється тим, що добавка в хромо-маргацеві сталі марок, що розглядаються, елементів з карбідоутворюючою здатністю, таких як титан, ванадій чи цирконій, призводить до зменшення розміру зерен і розширення інтервалу бейнітних перетворень [28, 29, 52]. Одним з найбільш ефективних карбідоутворюючих елементів є титан.

Вплив масштабного фактора на властивості сталі має складний характер, обумовлений комплексом технологічних факторів: ступенем обтискання заготовки, температурою кінця прокатування, швидкістю прокатування і охолодження сталі, які поряд з хімічним складом визначають кінцеві властивості арматурної сталі. Так для сталі 20ХГ2Ц зі збільшенням діаметра спостерігається деяке зниження механічних властивостей.

Зниження характеристик міцності сталі $\sigma_в$ і $\sigma_{0,2}$ в середньому складає 5 МПа при збільшенні номінального діаметра на 1 мм і відповідному збільшенню δ_p на 0,2% (абсолютних). Зміна механічних властивостей сталі в залежності від діаметра, в деякій мірі, нівелюється за рахунок «вилежування» чи низько-температурного відпуску. Так, вилежування сталі 20ХГ2Ц і 20ХГСТ сприяє підвищенню її пластичності.

Найменші значення відносного подовження і кута згинання сталі в холодному стані регіструються через 1–3 доби після прокатування, потім з плином часу величина δ_5 починає збільшуватись, досягая бракувальних значень на 6–10 добу, а значень порядку 9–18% – через 20–30 діб.

Швидкість нарощування пластичності при вилежуванні в значній мірі залежить від температури, тому відносне подовження δ_5 сталі, що поставляється в зимовий час, менше ніж влітку, але в усіх випадках перевищує 6% до моменту її використання в залізобетоні. Пластичні властивості сталі можуть бути підвищені шляхом витримування її в теплому приміщенні 2–5 діб чи в пропарювальних камерах заводів-споживачів протягом 10–12 годин.

Характерними для сталей цих марок є низькі середні відношення $\sigma_{0,02}/\sigma_{0,2}$ і $\sigma_{0,2}/\sigma_в$, що дорівнюють відповідно 0,63 і 0,67 і мало змінюються в залежності від діаметра і інших факторів.

Відносні подовження δ_5 і δ_p сталі в стані поставки в усіх випадках перевищують бракувальні значення, що дорівнюють відповідно 6 і 2%. Початковий модуль пружності E_s змінюється в межах $(1,6–2,5) \cdot 10^5$ МПа і в середньому складає $1,85 \cdot 10^5$ МПа.

Низькотемпературний відпуск сталі 20ХГ2Ц при температурі 250°C призводить до деякого підвищення значень $\sigma_{0,02}$ і $\sigma_{0,2}$ при збільшенні відносних подовжень δ_5 і δ_p, кута згинання сталі в холодному стані і практично незмінним $\sigma_в$. Середнє відношення $\sigma_{0,02}/\sigma_{0,2}$ і $\sigma_{0,2}/\sigma_в$ збільшується до 0,73–0,75 і параметр пружності η_1, що характеризує відношення $\sigma_{el}/\sigma_т(\sigma_{0,2})$, до 0,5. При цьому сталь з хімічним складом на середньому рівні марочного складу для 20ХГ2Ц і 20ХГ2Т відповідає вимогам до арматури класу А800, тобто $\sigma_{0,2} \geq 800$ МПа; $\sigma_в \geq 1050$ МПа і $\delta_5 \geq 7\%$.

Арматурна сталь марок 20ХГ2Ц і 20ХГ2Т значно краще стикується зварюванням, ніж 30ХГ2С, має добру ударну в'язкість при температурах до -40°C, зберігає високі пластичні і міцносні властивості при розтягуванні в умовах низьких мінусових температур і динамічних навантажень [52, 104]. Тому її можна застосовувати практично при будь-яких умовах експлуатації попередньо напружених залізобетонних конструкцій без обмежень довжини прогону. Починаючи з 1963 року ця арматура повністю замінила сталь марки 30ХГ2С і протягом 10 років була основною напружуваною стержньовою зварюваною арматурою попередньо напружених залізобетонних конструкцій [52, 84].

За міжнародними стандартами ISO 6934 і EN 10138, а також стандартами США, Німеччини і інших країн (додаток Б), мінімальні нормовані механічні властивості напружуваної арматури: $\sigma_{0,2} \geq 835$ МПа і $\sigma_в \geq 1030$ МПа. Це відповідає нормам ДСТУ 3670, ГОСТ 5781 і ГОСТ 100884 до сталі класів А800 і Ат800.

Гарячекатана сталь класів **А800(A-V)** марки 23Х2Г2Т була розроблена на основі арматурних сталей марок 20ХГ2Ц і 20ХГ2Т шляхом вдосконалення їх хімічного складу і введення в технологічний процес низькотемпературного відпуску після прокатування. Подальші дослідження, в тому

числі селектування сталі 23Х2Г2Т за хімічним складом, дали практичну можливість отримання арматури класу А1000(А-VI).

Гарячекатана арматурна сталь класу А-V(А800) за ГОСТ 5761 випускається марки 23Х2Г2Т діаметром 10–32 мм. Нормовані показники механічних властивостей сталі наведені в табл. 3.20. Мінливість механічних властивостей характеризується коефіцієнтами варіації $\sigma_{0,02}$, $\sigma_{0,2}$, $\sigma_в$ відповідно 13,1%, 8,82% і 6,33%.

Сталь 23Х2Г2Т витримує, без руйнування чи тріщин, випробування на згинання в холодному стані до 140–180° навколо оправки діаметром $5d_н$.

Початковий модуль пружності цієї сталі в середньому близько $1{,}9 \cdot 10^5$ МПа і відповідає нормативному значенню, прийнятому в СНиП 2.03.01.

Вплив масштабного фактора в значній мірі нівелюється регулюванням оптимального для кожного діаметра хімічного складу зі наступним після прокатування низько-температурним відпуском. Однак, загальна тенденція до зниження механічних властивостей зі збільшенням діаметра має місце.

Діаграма розтягування сталі класу А-V (А800) (рис. 3.7) і А-VI (А1000) характеризується відсутністю фізичної границі текучості.

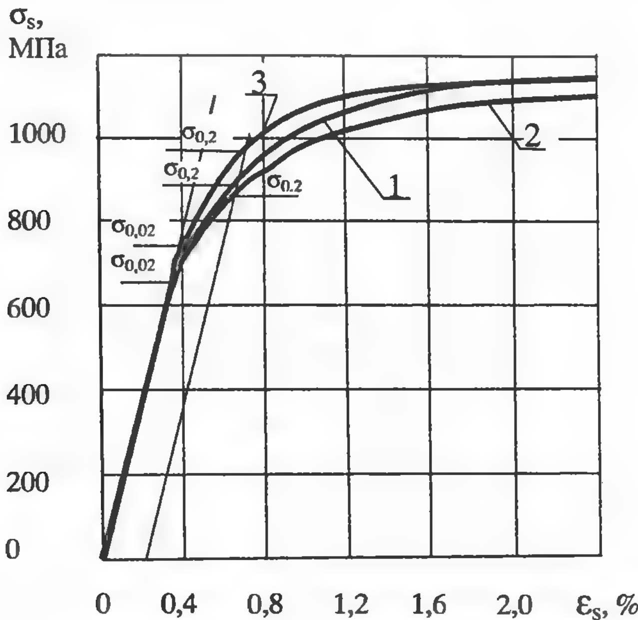


Рис. 3.7. **Середньостатистичні діаграми розтягування арматурної сталі класу А800 марки 23ХГ2Т:**

1 – стержньова діаметром 10–22 мм; 2 – стержньова діаметром 38–40 мм; 3 – бунтова арматура діаметром 8 мм після правки

Арматурна сталь класу А800, як при нормальних, так і при мінусових температурах до -70°С, характеризується меншою чутливістю до концентраторів напружень, які викликані механічними ураженнями чи зварними опіками, ніж гарячекатана сталь інших класів. Теплова і експлуатаційна зварюваність сталі 23Х2Г2Т оцінюється на тих же рівнях, що і сталь 20ХГ2Ц класу А-IV(А600), а металургійна зварюваність дещо вища [124]. Наведені вище данні дозволили включити цей клас сталі в СНиП 2.03.01 і рекомендувати використання арматурної сталі як зварюваної напружуваної арматури для залізобетонних виробів прогоном 12 і більше метрів при розрахункових температурах до мінус 55°С, а без зварювання у вигляді цілих стержнів мірної довжини – без обмеження температури експлуатації і виду навантажень.

Сталь класу **А-VI(А1000)** за ГОСТ 5761 випускається діаметром 10–22 мм марок, наведених в додатку В. Механічні властивості сталі відповідають значенням, наведеним в табл. 3.20.

Арматурна сталь А-VI(А1000) після низькотемпературного відпуску має вищу, ніж сталь А-V(А800) втомну міцність, також відрізняється високою ударною в'язкістю при низьких мінусових температурах і стійкістю проти крихкого руйнування. Ці особливості механічних властивостей дозволили рекомендувати її використання в залізобетонних конструкціях, що експлуатуються як при нормальних, так і низьких мінусових температурах.

Для арматурного прокату класів А800, А800К і А1000, згідно вимог ДСТУ 3670, релаксація напружень за 1000 годин не повинна перевищувати 4% за початкового зусилля, що становить 70% від максимального, яке відповідає тимчасовому опору розриванню (табл. 3.20).

Термомеханічно зміцнена сталь. Термічне зміцнення вуглецевих і низьколегованих сталей є досить ефективним способом підвищення їх міцносних характеристик на 60–100% і більше при порівняно невеликих витратах (5–12% вартості сталі). Над створенням термічно зміцненої арматури науково-дослідні і виробничі організації працюють починаючи з 1958 р.

Класифікація і основні технічні вимоги до термічно зміцненої арматури були встановлені ще в 1959–1961 рр. і введені в відповідні нормативні документи і стандарти (ГОСТ 10884-64).

Першим видом термомеханічно зміцненої арматури **(Ат-III(Ат400))**, яка по суті є різновидом гарячекатаної сталі і відрізняється лише умовами охолодження після гарячого прокатування, для звичайного залізобетону в нашій країні була арматура зі сталі марок Ст5пс і Ст5сп, призначена для замінення гарячекатаної сталі класу А-III(А400). При заміненні цих марок гарячекатаної сталі термомеханічно зміцненою сталлю марки 35ГС досягається економія легуючих добавок від 21,4 до 17,5 кг [47, 104] на 1 т сталі.

Ненапружувану термічнозміцнену арматуру класу **Ат-IIIС(Ат440С)** зі сталі Ст5пс і Ст5сп для звичайного залізобетону почали розробляти з 1973 р, а її промислове виробництво було опановано в 1976 р. Механічні властивості і діаграма розтягування цієї сталі відрізняється від аналогічних показників гарячекатаної сталі класу А400 (рис. 3.6) більш високими середніми значеннями границі текучості $\sigma_т(\sigma_{0,2})$ і тимчасового опору $\sigma_в$ при менших δ_5 і $\delta_р$.

Мінливість механічних властивостей цієї арматури в 2–3 рази перевищувала мінливість механічних властивостей гарячекатаної сталі класу А400. Бракувальний мінімум її границі текучості за ГОСТ 10884-81 був встановлений рівним 440 МПа.

До 1994 р обсяг виробництва і використання ненапруженої термомеханічно зміцненої арматури класу Ат-IIIС(Ат440С) зі сталі Ст5пс не перевищував 10% від об'єму гарячекатаної сталі класу А400 марок 35ГС і 25Г2С через економічну недоцільність та технологічну недосконаліcть. Але, проведені в подальшому роботи з вдосконалення технології виробництва цієї арматури, дозволили зменшити мінливість її механічних властивостей і забезпечити їх на рівні нормативних показників сталі класу Ат500С. Тому в ГОСТ 10884-94 термомеханічно зміцнена арматура з сталі марок Ст5сп і Ст5пс віднесена до класу Ат500С, а клас Ат440С (Ат-IIIС) виключений.

Механічні властивості і діаграма розтягування сталі класу Ат400 відрізняються від аналогічних показників гарячекатаної сталі класу А400 більш високими середніми значеннями границі текучості $\sigma_т(\sigma_{0,2})$ (табл. 3.20). При цьому співвідношення $\sigma_в/\sigma_т$ термомеханічно зміцненої сталі суттєво нижче, і складає в середньому по заводам-виробникам, від 1,2 до 1,26. Термомеханічне зміцнення призводить до збільшення $\sigma_т$ і $\sigma_в$ в середньому в 1,5 рази і в 1,25 рази у порівнянні з властивостями вихідної гарячекатаної сталі.

Арматурна сталь класу **А500С** за ДСТУ 3670 і класу **Ат500С** виготовляється шляхом термомеханічного зміцнення з сталі марок, наведених в додатку В. Механічні властивості цих сталей, регламентовані різними нормативними документами [37, 71], характеризуються одним рівнем показників (табл. 3.20). Не дивлячись на значну мінливість властивостей арматури окремих діаметрів (Ат500С), яка збереглась, необхідні нормативні значення границі текучості $\sigma_т \geq 500$ МПа забезпечують по всьому сортаменту з ймовірністю більше ніж 0,975($\overline{X} - 2S$). Розрахунковий опір сталі $f_t(R_S)$ = 435–450 МПа (відповідно для діаметрів 8–22 мм і 25–32 мм) [93] забезпечується з ймовірністю більше 0,999, що відповідає вимогам СНиП 2.03.01.

Термічне зміцнення призводить до збільшення $\sigma_т$ і $\sigma_в$ в середньому відповідно в 1,5 рази і в 1,25 рази у порівнянні з властивостями вихідної гарячекатаної сталі. Відносне подовження для класу Ат500С складає

18–22%, рівномірне подовження відповідно змінюється в межах 5–9%, сталь має високу границю пружності η_1 = 0,85 – 0,95.

Діаграма розтягування арматурної сталі класу Ат500С (А500С) має значну, до 1,0–2,5% ε_s, площадку текучості, що характерно для стержнів відносно низької міцності. З підвищенням механічних властивостей площадка текучості зменшується до 0 і сталь характеризується умовною границею текучості $\sigma_{0,2}$.

За рахунок високих границь пружності і текучості, великої пластичності діаграма розтягування цієї сталі не має значної зони зміцнення і на ділянці від $\sigma_{0,2}(\sigma_т)$ до $\sigma_в$ майже прямолінійна (рис. 3.8).

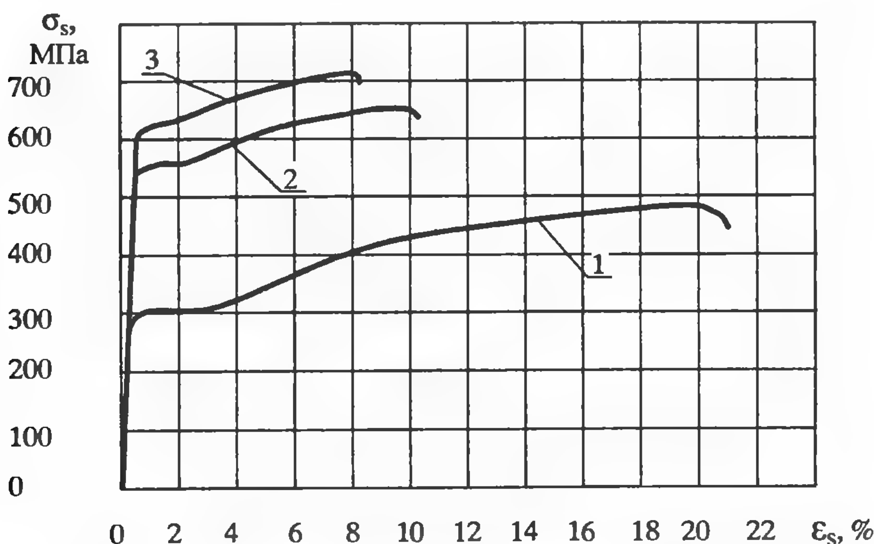


Рис. 3.8. **Діаграма розтягування арматурної сталі класу А500С:**
1 – вихідної сталі Ст3; 2, 3 – сталь класу А500С

Мікроструктура перерізу стержнів характеризується чітко вираженим поверхнево відпущеним шаром товщиною від 0,12 до 0,2d.

Згідно ДСТУ 3760 арматурна сталь класу А500С повинна витримувати без руйнувань 2 млн.циклів при максимальному навантаженні, що складає 60% від значення границі текучості. Розмах напружень циклу ($\sigma_{max} - \sigma_{min}$) повинен становити 180 МПа. Забезпеченість цього показника повинна бути не менше ніж 0,9 в кожній партії.

Критична температура крихкості термомеханічно зміцненої сталі на 20°С нижча ніж гарячекатаної сталі і відповідно її можна використовувати в залізобетонних конструкціях, що експлуатуються при розрахунковій зимовій температурі до мінус 55–70°С [52].

З 1995 р на Західно-Сибірському метизному комбінаті (ЗСМК) розпочато промислове виробництво нової арматурної сталі (А500С), яка враховуючи невідпрацьованість технології її виробництва і використання, поставлялась як сталь класу А400С. Проведені на ЗСМК роботи з вдосконалення прокатного обладнання і установок ТМЗ (термомеханічного зміцнення) та обмеження нижніх границь вмісту вуглецю і марганцю дозволили розпочати промислове виробництво зварюваної арматурної сталі класу А500С діаметром 12–25 мм.

На Україні в 1998 р виробництво термомеханічно зміцненої арматурної сталі класів А500С розпочалось на комбінаті «Криворіжсталь», який виготовляє її діаметром 8–32 мм, і в 2000 р., в Росії, – Череповецьким комбінатом АТ «Северсталь». Якість арматури відповідає EN 10080.

Сталь класів Ат400 і Ат500 при випробуванні на згинання, без руйнування і тріщин, витримує згинання на кут 160–180°, при нормованому значенні 90° і діаметрі оправки $3d_н$. Це пояснюється високою локальною пластичністю термомеханічно зміцненої сталі [52].

Згідно ГОСТ 10884, для арматурної сталі класів Ат400С, Ат500С і Ат600С випробування на згинання може бути замінено випробуванням на згинання на 90°, з наступним старінням і розгинанням до 20°. Зразки арматури класів Ат400С і Ат500С вигинають навколо оправки, діаметр якої наведено в табл. 3.22.

Таблиця 3.22

Діаметр оправки при номінальному діаметрі арматурної сталі

Розміри в мм

Номінальний діаметр стержнів, $d_н$, мм	6	8	10	12	16	20	25	32	40
Діаметр оправки, D, мм	32	40	50	63	100	160	200	320	400

Примітка. Діаметр оправки для стержнів діаметром 14, 18 і 24 мм, а також сталі класів Ат600, Ат800, Ат1000 і Ат1200 повинні бути погоджені виробником і споживачем.

Для сталі класу Ат400 відносне подовження складає 24–25%, класу Ат500 – 18–22%; рівномірне подовження відповідно змінюється в межах 13–16 і 5–9%.

Випробування на розтягування при понижених температурах вказують на те, що властивості сталі класів Ат400 і Ат500 змінюються практично однаково. При цьому повністю забезпечуються, обумовлені стандартом, значення характеристик механічних властивостей.

Механічні властивості арматурного прокату класу **А550С** регламентуються ТУ У 27.1-4-551-2003. і наведені в табл. 3.20. Всі інші технічні вимоги до прокату – за ДСТУ 3760 для класу А500С.

Арматурний прокат виготовляють в прутках і мотках діаметром від 6 до 28 мм, з номінальними діаметрами згідно ДСТУ 3760. Арматура виготовляється періодичного профілю, на підприємстві ВАТ «Міттал Стіл Кривий Ріг» і призначена для використання в якості напружуваної арматури попередньо напружених залізобетонних конструкцій. Прокат класу А550С також можна використовувати як ненапружувану арматуру.

В 1960 р в Тульському політехнічному інституті була виготовлена дослідна установка, на якій вдалось отримати першу високоміцну термічно зміцнену арматуру класу Ат-IV(Ат600) з сталі марки Ст5 і більш міцні матеріали з сталі 35ГС і 25Г2С [4, 7, 15, 16]. Промислове виробництво термічно зміцненої високоміцної напружуваної арматури було здійснено в 1962 р на заводі ЗБВ №2 в м. Рязань на установці електротермічного зміцнення арматури ЕТУ-1.

Термомеханічно зміцнена сталь класу **Ат600 (Ат600С, Ат600К)** виготовляється за такою ж технологією, що й клас Ат500С, шляхом прискореного охолодження при прокатуванні з температурою самовідпуску близько 500–550°С [33, 61, 110] з низьколегованих сталей (додаток В).

Нормовані показники механічних властивостей сталі цього класу наведені в табл. 3.20.

Переріз термомеханічно зміцнених стержнів, такий же, як і сталі класу Ат500С: характеризується двома зонами – зовнішнім кільцем і внутрішньою частиною з перехідними ділянками. Така різниця в мікроструктурі викликана різними швидкостями охолодження поверхневих і внутрішніх шарів низьколегованої сталі. Відповідно змінюється і твердість сталі за перерізом. При цьому твердість сталі в середині перерізу вища ніж вихідної гарячекатаної сталі.

Діаграма розтягування [52], як правило, характеризується фізичною границею текучості біля 1% ε_s (рис. 3.9).

Арматурна сталь класу Ат600 має високу локальну пластичність і в'язкість. Випробування на згинання в холодному стані в усіх випадках, при діаметрі оправки – $5d_н$, показує кут загинання 160–180° при нормованих стандартом – 45°.

Арматура класу Ат600 характеризується високою стійкістю при дії низьких температур при осьовому розтягуванні. Так, результати випробувань впливу температур на механічні властивості показали [33, 49, 52], що зі зниженням температури від +20°С до -60°С міцносні властивості зразків з необробленою поверхнею поступово підвищуються на 40–60 МПа при незначному зниженні відносного подовження δ_5.

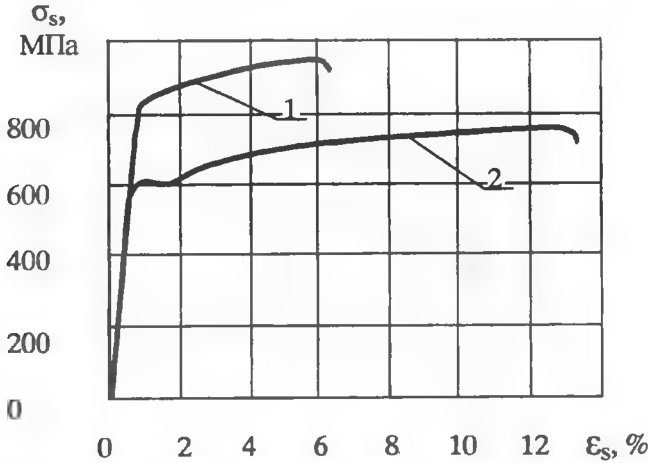


Рис. 3.9. **Діаграма розтягування арматурної сталі класу Ат600:**
1 – при $\sigma_в$ = 950 МПа; 2 – при $\sigma_в$ = 745 МПа

Відомо, що в процесі транспортування і переробки арматурної сталі вона може зазнавати пошкоджень у вигляді вм'ятин, опіків і т. д., які є концентраторами напружень і можуть сприяти крихкому руйнуванню, особливо при низьких мінусових температурах. Для сталі Ат600 наявність концентраторів не впливає на стійкість при дії низьких температур.

Теоретичні і експерементально-пошукові дослідження властивостей, технології виробництва і використання високоміцної термічно і термомеханічно зміцненої арматурної сталі були розпочаті в 1958 році. Спочатку досліджувались механічні властивості термомеханічно зміцненої арматурної сталі марок Ст3, Ст5 і 35ГС, потім були розроблені спеціально для арматури класів **Ат800** і **Ат1000** марки сталі 20ГС і 20Г2С, а пізніше для сталі класу Ат800 марки 08Г2С, 20ХГС2 і 28С.

Механічні властивості арматурного прокату всіх марок цих класів відповідають вимогам, наведеним в табл. 3.20. Нормативні або бракувальні значення умовної границі текучості сталі класів Ат800 і Ат1000 в стані поставки забезпечуються з довірчою імовірністю відповідно не менше 0,95 і 0,84. Загальний вигляд діаграми розтягування арматурних сталей наведено на рис. 3.10.

Середнє відношення $\sigma_{0,2}/\sigma_в$ для сталі класу Ат800 діаметром 10–14 мм – 0,84, а для сталі класу Ат1000 таких же діаметрів – 0,78. Тому для сталі класу Ат1000 діаметром 10–14 мм бракувальне $\sigma_в$ значення було збільшене до 1250 МПа.

Арматурні сталі класів Ат800 і Ат1000 мають високі значення подовження на базі 5d – δ_5, в стані поставки, яке становить більше 10% в 95%

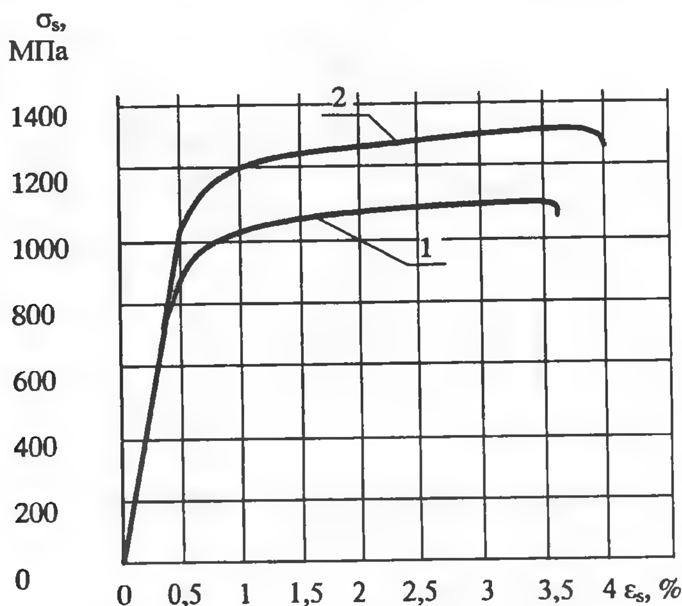


Рис. 3.10. **Діаграми розтягування високоміцної арматурної сталі:**
1 – класу Ат800; 2 – класу Ат1000

випадків. Середнє значення відносного рівномірного подовження δ_p сталі обох класів відрізняються на незначну величину. Мінімальні величини δ_p знаходяться в межах 2%.

Збільшення діаметра арматури при інших рівних умовах призводить до зменшення характеристик міцності. Тому для забезпечення необхідних фізико-механічних властивостей сталі необхідно зберігати ті самі умови охолодження. Збільшення діаметра призводить також до підвищення характеристик опору сталі малим пластичним деформаціям $\sigma_{0,02}$, $\sigma_{0,05}$, $\sigma_{0,2}$, і η_1.

Збільшення вмісту кремнію в сталі до 2–2,5% забезпечує суттєве підвищення стійкості проти корозійного розтріскування, яке має особливе значення після низькотемпературного відпуску до 450–500°C [44, 134]. Ці данні стали основою для створення і впровадження сталі марки 20ГС2 і інших високоміцних арматурних сталей, легованих додатково кремнієм.

В термомеханічно зміцненому стані арматура з сталі 20ХГ2С діаметром 10–12 мм відповідає вимогам ГОСТ 10884 до сталі класу Ат1000, а діаметром 14 і 22 мм – до сталі класу Ат800.

При вмісті хрому в цих сталях в кількості 0,9–1,2% і сумарній кількості марганцю і хрому 2,1–2,3% вдається забезпечити міцність зварних з'єднань при контактно стиковому зварюванні стержнів діаметром 10–22 мм, до рівня вимог до сталі класу А800, а в поєднанні з легуванням кремнієм в

кількості 1,5–2,2% – значно підвищити стійкість проти корозійного розтріскування, отримавши, таким чином, сталь класу Ат800К.

Одним з недоліків високоміцної термомеханічно зміцненої арматурної сталі цих класів вважається велика неоднорідність механічних властивостей, яка характеризується коефіцієнтами варіації $\sigma_{0,2}$ і $\sigma_в$ відповідно 3,9–5,8% і 3,2–5,6%. Це, головним чином, пов'язано з нерівномірною швидкістю переміщення арматури в установці охолодження.

Промислове виробництво термомеханічно зміцненої арматурної сталі класів Ат800(Ат-V) і Ат1000(Ат-VI) було вперше в світовій практиці опановано в Україні в 1967 р. Криворіжським металургійним комбінатом. Потім виробництво такої високоміцної арматурної сталі було здійснено Череповецьким метизним комбінатом (ЧерМК), а в 1974 р – ЗСМК і в 1987 р. – Білоруським метизним заводом (БМЗ).

Самим високоміцним видом стержньової термомеханічно зміцненої арматури є сталь класу **Ат1200** з границею текучості $\sigma_{0,2} \geq 1200$ МПа і $\sigma_в \geq 1450$ МПа. При такій високій міцності в стержнях діаметром 10–25 мм фактичне відносне подовження $\delta_5 \geq 9\%$ і $\delta_p \geq 2,3\%$, що суттєво більше нормованих ГОСТ 10884 величин δ_5 і δ_p [52]. Діаграма розтягування (рис. 3.11) цієї сталі в стані поставки характеризується параметром пружності $\eta_1 = 0,54$ і співвідношенням 1,296.

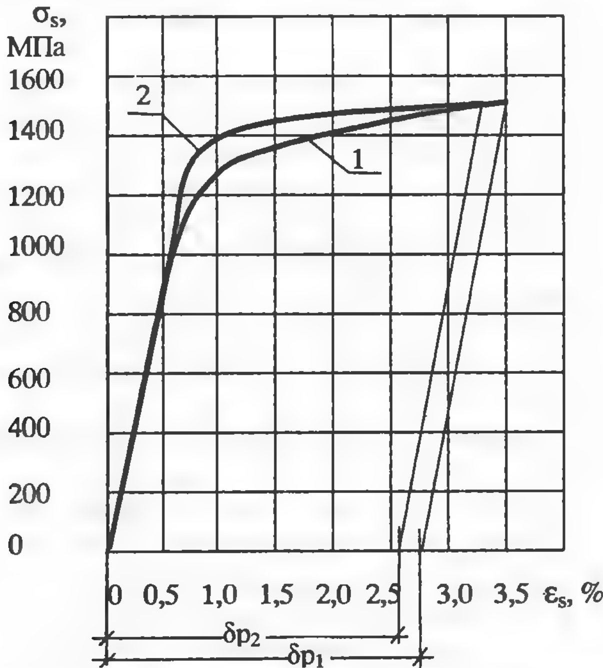


Рис. 3.11. **Діаграма розтягування сталі класу Ат1200(Ат-VII):**
1 – вихідний стан; 2 – після стабілізації

Арматурна сталь такої високої міцності може ефективно використовуватись в конструкціях великого прогону або спеціальних спорудах з високим ступенем відповідальності, наприклад в оболонках атомних реакторів. Тому для широкого практичного використання високо міцної сталі в будівництві необхідно при її виготовленні здійснювати низькотемпературний відпуск і калібрування, а також виготовляти її з гвинтовим чи іншим спеціальним профілем для стикування без зварювання і постачати будівельникам комплектно, тобто так, щоб її міцність була максимально використана.

ГОСТ 10884 регламентує, для сталі класів Ат800, Ат1000 і Ат1200, вимоги до величини границі пружності $\sigma_{0,02}$, яка повинна бути не менше 0,85 $\sigma_{0,2}$, а також умову, що релаксація напружень за 1000 годин не повинна бути більше 4% від вихідного зусилля, яке складає 70% від $\sigma_в$. Арматурна сталь цих класів повинна також витримувати без руйнування 2 млн. циклів напруження, що складає 70% початкової границі міцності $\sigma_в$. Інтервал $\sigma_{max} - \sigma_{min}$ для арматури гладкого профілю дорівнює 245 МПа, для сталі періодичного профілю – 195 МПа. Виконання цих умов, які введені в стандарт в 1994 році, призвело до суттевого покращення діаграми розтягування сталі класів Ат800 і Ат1000 і підвищення $\sigma_{0,02}/\sigma_{0,2}$ до 0,85 і $\sigma_{0,2}/\sigma_в$ до 0,86–0,88. Механічні властивості і показники діаграми розтягування арматурної сталі класів Ат800 і Ат1000 відповідають вимогам Євронорм EN 10138 і інших міжнародних стандартів.

Суттєвим недоліком високоміцної термомеханічно зміцненої арматури є знеміцнення її при контактно-стиковому і інших видах зварювання з великими тепловкладеннями [123]. Ступінь знеміцнення залежить від виду вихідної сталі і способу зварювання [33, 52], однак в розрахункових перерізах залізобетонних конструкцій зварні стики арматурної сталі класів Ат800 і Ат1000 не допускаються. Тому, не дивлячись на досить значні об'єми виробництва, ця арматура використовується, в основному, у вигляді стержнів мірної довжини діаметром 10–14 мм в збірних попередньо напружених виробах прогоном до 12 м, головним чином, в плитах покриттів і перекриттів 5,8 –7,2 м.

Дріт і арматурні канати. Низьковуглецевий холоднотягнутий дріт діаметром 3–5 мм почали використовувати в нашій країні для армування залізобетонних конструкцій ще в 40-і роки минулого століття [66]. До 1953 р. цей арматурний дріт виготовляли за ГОСТ 3282-46 із сталі марок Ст0 – Ст2 тільки гладким і без нормування мінімальної міцності. З 1953 р. ГОСТ 6727-53 були встановлені нижні бракувальні значення тимчасового опору для дроту діаметром 3–5,5 мм – 5500 кг/см^2 (550 МПа). Але, через відсутність періодичного профілю ця арматура використовувалась для виготовлення зварних сіток і каркасів.

Подальші роботи, виконані під керівництвом проф. К.В.Михайлова, призвели до створення і масового виробництва холоднотягнутого дроту періодичного профілю класу **Вр-I** з фактичними механічними властивостями на рівні класу А500С за ДСТУ 3760 і EN 10080 ($\sigma_{0,2} \geq 500$ МПа, $\sigma_в \geq 550$ МПа).

Механічні властивості холоднотягнутого дроту (Вр-І) періодичного профілю діаметром 3, 4 і 5 мм, який зараз випускають за ГОСТ 6727, відповідають, як правило, вимогам до сталі класу А500 [52, 57] і наведені в табл. 3.23.

Таблиця 3.23

Механічні властивості низьковуглецевого холоднотягнутого дроту

Номінальний діаметр дроту, мм	Розривне зусилля, P, гН(кгс)	Зусилля, яке відповідає умовній границі текучості $P_{0,2}$, гН(кгс)	Кількість перегинів	Відносне подовження δ_{100}, %
	не менше			
3,0	39(400)	35(355)	4	2,0
4,0	71(720)	62(630)		2,5
5,0	106(1085)	97(985)		3,0

Арматурний дріт класу Вр-I протягом багатьох років використовувався з нормованою масою на 6,7–7,2% нижче стандартної для цих діаметрів. Це досягалось за рахунок мінусового допуску на діаметр прутків. Таким чином забезпечували відповідну економію сталі без перерахунку перерізу залізобетонних конструкцій.

Характерною особливістю діаграми розтягування холоднодеформованої арматури, як в стані поставки, так і після правлення є відсутність фізичної границі текучості, тому нормативними показниками її міцності прийняті умовна границя текучості $\sigma_{0,2}$ і тимчасовий опір $\sigma_в$ (рис. 3.12).

Відношення $\sigma_в$ до $\sigma_{0,2}$ відносно низьке і складає від 1,03 до 1,12 в залежності від діаметра і технології виробництва [52].

Холоднодеформована арматура поставляється, як правило, в бунтах. Бунтова арматура має відносно низькі границі пружності $\sigma_{0,02}$ і $\sigma_{0,05}$ в стані поставки, тобто до правлення, які складають від 0,75 до 0,8 $\sigma_{0,2}$ і від 0,85 до 0,9 $\sigma_{0,2}$. Після правлення співвідношення $\sigma_{0,02}/\sigma_{0,2}$ і $\sigma_{0,05}/\sigma_{0,2}$ дещо підвищуються і складають 0,81–0,85 і 0,87–0,9 відповідно.

Розрахункова границя пружності η_1 в бунтовій арматурі змінюється в межах від 0,55 до 0,714 [9], а після правлення може бути від 0,702 до 0,89. Після правлення ця арматура працює практично пружно до рівня розрахункового опору.

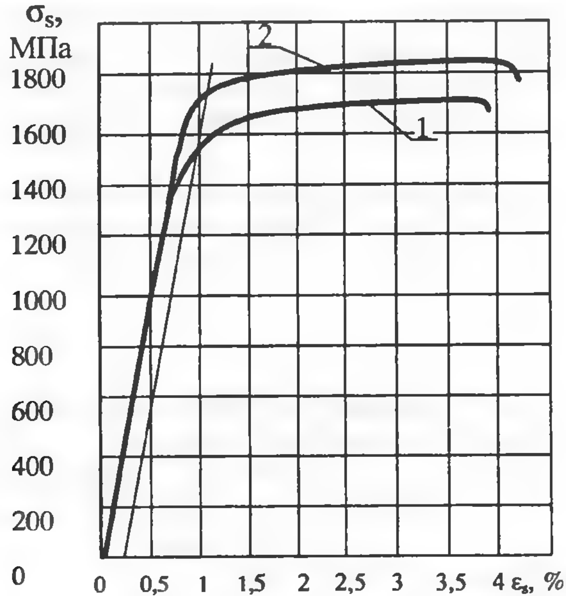


Рис. 3.12. **Діаграми розтягування дротяної високоміцної арматурної сталі:**
1 – відпущених арматурних канатів діаметром 15 мм; 2 – стабілізованого дроту діаметром 5 мм

ГОСТ 6727 для холоднотягнутого дроту діаметром 3–5 мм, за критерії пластичності, прийнято відносне подовження δ_{100}, що вимірюється на базі 100 мм і дорівнює 2,0%; 2,5% і 3,0% для дроту діаметром 3, 4 і 5 мм відповідно і не менше 4-х перегинів.

Виробництво спеціальної високоміцної дротяної арматури і арматурних канатів почалось після 1956 р [64]. До цього попередньо напружувані залізобетонні конструкції армували високоміцними сталями, призначеними для інших цілей: канатами, семафорним і пружинним дротом діаметром 2–5 мм, які за рядом причин не відповідали вимогам, що висувались до напружуваної арматури.

В 1955 р. було розроблено і прийнятий вперше в країні державний стандарт на високоміцну дротяну арматуру ГОСТ 7348-55 «Проволока стальная круглая углеродистая для предварительных железобетонных конструкций.» За цим стандартом метизна промисловість почала випускати гладкий високоміцний дріт діаметром 2,5–5 мм.

Вже в 1957 р. було розроблено і затверджено стандарт на високоміцний дріт періодичного профілю – ГОСТ 8480-57. Потім були розроблені ЧМТУ 426-61 на семидротинкові спіральні прядки для армування попередньо напружуваних залізобетонних конструкцій (зараз термін «прядки» замінено на «арматурні канати»).

Технологія виробництва і якість високоміцного дроту і арматурних канатів безперервно вдосконалюється [10, 13, 30, 60, 62, 64, 98, 131, 135], розроблена сучасна класифікація і система стандартів.

Нормовані ГОСТ 7348 і ГОСТ 13840 механічні властивості дроту і арматурних канатів наведені в табл. 3.24. Для забезпечення таких показників на всіх метизних заводах України, Росії, Білорусії здійснюють низькотемпературний відпуск, а на Череповецькому і Харцизському заводах стабілізацію дроту і арматурних канатів.

Таблиця 3.24

Механічні властивості високоміцного дроту і арматурних канатів

Клас міцності сталі і технічна документація		Діаметр, мм	Модуль пружності, $E_s \cdot 10^{-5}$	Умовна границя текучості, $\sigma_{0,2}$	Тимчасовий опір розриву, $\sigma_в$	Відносне подовження після розриву, δ_{100}	Кількість перегинань дроту
			МПа			%	
			не менше				
ГОСТ 7348 В-ІІ	В1500	3; 5[2)]	2,0	1500	1780	4	9
	В1400	4		1400	1700	4	7
	В1400	5		1400	1670	4	5
	В1400	6		1400	1670	5	–
	В1300	7		1300	1570	6	–
	В1200	8		1200	1470	6	–
ГОСТ 7348 Вр-ІІ	Вр1500	3	2,0	1500	1780	4	8
	Вр1400	4		1400	1700	4	6
	Вр1400	5		1400	1670	4	3
	Вр1400	6		1400	1670	5	–
	Вр1300	7		1300	1570	6	–
	Вр1200	8		1200	1470	6	–
ГОСТ 13840[3)]	К7-1500	6	1,8	1500	1770	4[1)]	–
	К7-1500	9		1500	1770	4	
	К7-1500	12		1500	1770	4	
	К7-1400	15		1400	1670	5	

Примітки: 1. Відносне подовження перед розривом δ_n (A_{gt}).

2. Стабілізований дріт.

3. Відносне подовження перед розривом, для арматурних канатів всіх діаметрів – 4%.

Межа змін $\sigma_{0,2}$ і $\sigma_в$ одного діаметра дротяної арматури, в залежності від об'єму і складу вибірки, може сягати 300–500 МПа, а величина середньоквадратичного відхилення цих показників складає близько 60,0 МПа.

Співвідношення $\sigma_{0,2}/\sigma_в$ для дроту класу **Вр-II**, з забезпеченістю P ≥ 0,95, складає 0,85 при середньому – 0,89, а в «відпущеного» дроту класу **В-II** відповідно 0,85 і 0,9 [52].

Високоміцний дріт і арматурні канати поставляються з вимогами до релаксації напружень. Втрати напружень від релаксації в стабілізованому дроті при початковому навантаженні 0,7 від фактичного розривного зусилля не повинні перевищувати 2,5% після 1000 годин витримування під напругою. Релаксація напружень арматурних канатів за 1000 годин не повинна перевищувати 8% – для канатів з відпуском і 2,5% – для канатів з відпуском під напругою при початковому навантаженні 0,7 від фактичного розривного зусилля.

Дріт діаметром 6,0 мм і вище повинен витримувати випробування на згинання на 180° без тріщин і надривів.

Дослідження впливу низьких мінусових температур на властивості високоміцного дроту показали, що механічні властивості зі зниженням температур від +20°С до -60°С практично не змінюються, а руйнування в усіх випадках носить пластичний характер з утворенням шийки [52, 64], що характерно і для термомеханічно зміцненої арматурної сталі класу Ат1000 марок 20ГС і 20ГС2 [33].

19-и дротяні канати діаметром – 14 мм мають нормативний опір – 1400 МПа і відносне подовження – 4%.

Вуглецевий холоднотягнутий дріт діаметром 3–8 мм і арматурні канати з нього діаметром 6–15 мм є самими міцними видами напружуваної арматури і мають ряд суттєвих переваг перед стержньовою арматурою:

– високу міцність, яка досягається за рахунок використання вуглецевої сталі (С ≥ 0,7%) при малій витраті дефіцитних легуючих добавок, головним чином, за рахунок багатоступеневого термомеханічного зміцнення [131];

– можливість поставки будь-якої необхідної довжини;

– можливість створення напружуваних арматурних елементів будь-якого контуру з широким діапазоном розривного зусилля.

Недоліками високоміцного дроту і арматурних канатів є:

– висока вартість технологічних переділів зміцнення, в результаті чого собівартість такої арматури значно вища стержньової;

– зниження міцності при напруженні електротермічним способом;

– значна трудомісткість при використанні в короткомірних виробах (l = 6–9 м) при напруженні на упори форм чи піддонів за агрегатно-потоковою чи конвейєрною технологіями виготовлення попередньо напружених залізобетонних виробів;

– необхідність використання бетону високої міцності $f_c(R_b) \geq 30$ МПа.

Тому високоміцний дріт і арматурні канати в нашій країні ефективно використовуються в довгомірних попередньо напружених конструкціях мостів і інженерних споруд, в напірних трубах и елементах силосів з на-

мотуванням на осердя чи піддон, а також в плитах, що виготовляються за стендовою технологією і т. п.

В країнах СНД, в основному, використовують високоміцний арматурний дріт діаметром 3–5 мм і арматурні канати діаметром 6–15 мм.

За кордоном в Західній Європі, США і інших країнах попередньо напружені конструкції виготовляють з напруженням «на бетон», чи з напруженням «на упори» на довгих, до 200 м, стендах, тому високоміцна дротяна арматура складає там 90–95% від всієї напружуваної арматури, а для забезпечення максимального агрегатного зусилля попереднього напружування використовують дріт, в основному, діаметром 6–8 мм. Дріт діаметром 3 мм зовсім не використовують через можливу корозію [52].

Для системи напруження «на бетон» без зчеплення виготовляють волочені канати, які в готовому вигляді протягують крізь філь'єри і отримують круглий гладкий канат.

Порівняння нормованих ГОСТ 7348 і ГОСТ 13840 механічних властивостей високоміцного дроту і арматурних канатів, що випускаються в Україні (табл. 3.24), з аналогічними властивостями високоміцної дротяної арматури, яку виготовляють в Японії, країнах Європи і США (табл. 3.25) показує, що механічні властивості вітчизняного високоміцного «відпущеного» дроту діаметром 5–8 мм і арматурних канатів на 100–300 МПа нижчі, ніж в країнах Європи за EN 10138, в США і Японії.

Таблиця 3.25

Характеристики дротяної арматури і арматурних канатів, що випускають за кордоном

Країна і № стандартів	Вид арматури	Діаметр, мм	Модуль пружності, $E_s \cdot 10^{-5}$	Умовна границя текучості, $\sigma_{0,2}$ ($\sigma_{0,1}$ або σ_1)	Тимчасовий опір розриву, $\sigma_в$	Відносне подовження після розриву, δ_{100}
			МПа			%
			не менш			
1	2	3	4	5	6	7
Європа EN 10138-95	дріт	5	2,05	1523[1)]	1770	3,5
		6		1523	1770	
		7		1435	1670	
		8		1435	1670	
	7 дротяні канати	13	1,95	1580	1860	3,5
		15		1500	1770	
		16		1500	1770	
		18		1500	1770	

Закінчення таблиці 3.25

1	2	3	4	5	6	7
США ASTM A416-A422-A722-90	дріт	6,35	2,05	1407[2)]	1655	3,5
		7,01		1377	1620	
	7 дротяні канати	12,7	1,95	1466	1725	3,5
		15,24		1466	1725	
		12,70		1583	1863	
		15,24		1583	1863	
Японія JISG 3109-3536-88	дріт	6	1,95	1367	1558	3,5
		7		1325	1515	
		8		1279	1471	
		9		1226	1418	
Японія JISG 3109-3536-88	7 дротяні канати	9,3	1,95	1463	1720	3,5
		10,8		1463		
		12,4		1463		
		15,2		1470		
		9,5	1,95	1584	1860	
		11,1		1590		
		12,7		1580		
		15,2		1600		

Примітка. 1. Умовна границя текучості – $\sigma_{0,1}$.
2. Те ж σ_1, напруження при загальному видовжені рівному 1%.

Фактичні механічні властивості стабілізованого дроту діаметром 5 мм близькі до властивостей аналогічної закордонної арматури.

3.3.3. Оцінювання зварюваності і корозійної стійкості арматурного прокату

Зварюваність. Зварюваність прокату, згідно ДСТУ 3760, ГОСТ 5781 і ГОСТ 10884, ТУ У 27.1-4-551-2003, окрім марки 80С [68], забезпечується хімічним складом сталі, з якої він виготовлений, і технологією виробництва.

Прокат вважають зварюваним, якщо сталь з якої він виготовлений, за хімічним складом, і значенням вуглецевого еквіваленту відповідають вимогам стандартів. *Вуглецевий еквівалент* – це умовний показник зварюваності сталі, що виражений у вигляді суми масових часток вуглецю і зведених до вмісту вуглецю масових часток легуючих елементів у сталі.

Величина вуглецевого еквіваленту, за ДСТУ 3760, розраховується за формулою (3.2):

$$Ce = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + V + Mo)}{5} + \frac{(Cu + Ni)}{15}, \%, \qquad (3.2)$$

де *C, Mn, Cr, V, Mo, Cu* і *Ni* – відповідно масова доля вуглецю, марганцю, хрому, ванадію, молібдену, міді і нікелю в сталі, в %.

Допускається величину вуглецевого еквіваленту, *Ce*, обчислювати за формулою (3.3):

$$Ce = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{10}, \%, \qquad (3.3)$$

де *Si* – масова частка кремнію.

Величина вуглецевого еквіваленту зварюваного арматурного прокату повинна бути [37]:

– для класу А400С діаметром від 6 мм до 18 мм: від 0,25% до 0,52% включно;

– для класу А400С діаметром від 20 мм до 40 мм: від 0,30% до 0,52% включно;

– для класу А500С всіх діаметрів: від 0,30% до 0,52% включно;

– для класу А600С всіх діаметрів: від 0,40% до 0,65% включно;

– для класу А800С всіх діаметрів: не більше ніж 0,65%.

Для класу А550С вуглецевий еквівалент розраховується за формулами (3.2) – (3.3) і повинний бути не більше 0,62%. Гарантована границя міцності зварних з’єднань – не менше 580 МПа (Н/мм^2).

За ГОСТ 5781 вуглецевий еквівалент обчислюють за формулою (3.3), і для зварюваної стержньової арматури з низьколегованої сталі класу А-ІІІ(А400) він повинен бути не більше 0,62%.

Для зварюваної термомеханічно зміцненої арматурної сталі, згідно вимог ГОСТ 10884, вуглецевий еквівалент визначається за формулою (3.4):

$$Ce = C + \frac{Mn}{8} + \frac{Si}{7}, \%, \qquad (3.4)$$

і повинен бути для класу Ат400С не менше 0,32%, класу Ат500С – не менше 0,40%, класу Ат600С – не менше 0,44%.

Для зварюваної арматурної сталі класів А240С, А400С, А500С, А600С, А800С та термомеханічно зміцненої сталі зварні з’єднання за типом, конструкцією і розмірами повинні задовольняти вимогам ГОСТ 14098 [24] (додаток Г).

Зварні з’єднання термомеханічно зміцненої арматури класів А400С і А500С за ДСТУ 3760 виконують за ГОСТ 14098, як для арматури класу

Ат-IIIС з урахуванням додаткових вказівок з використання зварних з'єднань і способів зварювання, наведених в табл. Г. 5 (додаток Г) [93].

Не допускається зниження тимчасового опору зварного з'єднання, за ДСТУ 3760, відносно норм тимчасового опору (табл. 3.20), більше як на 10%. Зварюваний термомеханічно зміцнений арматурний прокат повинен мати тимчасовий опір розриву не менше $0{,}9\sigma_в$ вказаного в табл. 3.20

Стійкість проти корозійного розтріскування. Важливим критерієм надійності експлуатації напружуваних залізобетонних конструкцій є стійкість напружуваної арматури проти крихкого корозійного руйнування.

Стійкість арматурного прокату проти корозійного розтріскування під напругою забезпечується хімічним складом сталі, рівнем механічних властивостей і технологією виготовлення. Стійкість оцінюють за часом руйнування зразка, що перебуває в корозійному середовищі і при напруженні.

Як корозійне середовище при випробуванні зразків використовують киплячий розчин, який складається з 600 масових часток азотнокислого кальцію, 50 масових часток азотнокислого амонію і 350 масових часток води при температурі 98–100°С. В процесі проведення досліджень забезпечується постійна температура і концентрація розчину.

У відповідності з положенням ДСТУ 3760 арматура вважається стійкою проти корозійного розтріскування, якщо в процесі випробувань при напруженні $0{,}9\sigma_в$, нормованого для даного класу міцності, час до руйнування перевищує 100 годин. Для термічно зміцненої арматури за ГОСТ 10884 випробування проводять при напруженні – $0{,}9\sigma_{0,2}$, час до руйнування від корозійного розтріскування також повинен бути не менше 100 годин.

3.4. Вимоги до виду поставки

Поставка арматурної сталі визначається об'ємами її систематичного споживання і може бути поділена на дві основні категорії.

Перша – повагонна поставка арматурної сталі крупним споживачам, таким як великі заводи залізобетонних виробів, будівництво і металобази, що мають сталі об'єми квартального споживання арматурної сталі одного класу і діаметра більше вагонної норми, тобто 65 т. В цьому випадку арматурна сталь надходить споживачу безпосередньо від завода-виробника залізничним транспортом.

Друга – поставка арматурної сталі меншими партіями, як правило автотранспортом, в обсягах суттєво менших вагонної норми. Така поставка здійснюється з централізованих металобаз або дилерами металургійних заводів-постачальників з проміжних складів. Можлива також поставка і безпосередньо з заводу-виробника споживачам, які розташовані поблизу (не більше 100–150 км).

В обох випадках арматурна сталь поставляється партіями масою не більше 70 т одної плавки (ковша) і одного діаметра і оформлюється одним документом про якість — сертифікатом.

Використання арматурної сталі, яка не має документа про якість, забороняється, тому що може привести до аварійних ситуацій.

В випадку використання арматури, що поставляється за іноземними технічними умовами чи стандартами без додаткової сертифікації, всю відповідальність за її якість несе покупець.

Пакування арматурної сталі здійснюють або у в'язки для стержнів діаметром 10—70 мм, або в бунти (мотки).

Стержні поставляють в'язками масою 3, 5, 10 або 15 т. Маса в'язок встановлюється за згодою з споживачем.

В бунтах поставляють арматурні канати, холоднотягнутий дріт, а також гарячекатану арматуру (А-І(А-240) і А-ІІ(А-300) діаметром до 12 мм; А-ІІІ(А-400) діаметром до 10 мм включно; А-IV(А600), А-V(А800), А-VI(А1000) діаметром 6 і 8 мм за згодою виробника зі споживачем) і термомеханічно зміцнену всіх класів діаметром 6 і 8 мм (допускається поставляти в бунтах сталь марок Ат400С, Ат500С, Ат600С діаметром 10 мм).

Гарячекатану стержньову арматуру поставляють в прутках довжиною від 6 до 12 м:

— мірної довжини;

— немірної довжини.

Згідно з ГОСТ 5781 також поставляють прутки мірної довжини з немірними відрізками довжиною не менше 2 м, не більше 15% від маси партії.

За згодою виробника зі споживачем допускається виготовлення прутків довжиною менше 6 м і більше 12 м (від 5 до 25 м). Довжину мірних прутків зазначають у замовленні (контракті). Граничні відхилення за довжиною мірних прутків можуть бути від 0 до +100 мм. Допускається встановлення інших граничних відхилень за згодою виробника зі споживачем.

Термомеханічно зміцнену арматурну сталь виготовляють мірної довжини від 5,3 до 13,5 м. Допускається виготовлення стержнів мірної довжини до 26 м, довжина — на вимогу споживача.

Термомеханічно зміцнену арматурну сталь, що зварюється допускається поставляти у вигляді стержнів:

— мірної довжини з немірними відрізками довжиною не менше 2 м, не більше 15% від маси партії;

— немірної довжини від 6 до 12 м. В партії такої арматурної сталі допускається наявність стержнів довжиною від 3 до 6 м в кількості не більше 7% маси партії.

Зварювану арматурну сталь виготовляють і поставляють в стержнях мірної довжини і немірної довжини (від 6 до 12 м). Граничні відхилення

при звичайній точності прирізання стержнів довжиною до 6 м і понад 6 м складають відповідно + 50 і + 70 мм, при підвищеній точності – відповідно + 25 і + 35 мм.

В разі поставки арматурного прокату в мотках, кожний моток повинен складатися з одного відрізку. Допускається поставляти мотки, що складаються із двох відрізків, кількістю, що не перевищує 10% від партії. Моток повинен бути щільно перев'язаний. Кількість ув'язок зазначають у замовленні (контракті).

Маса мотка високоміцного дроту повинна бути не менше 100 кг для діаметра до 6 мм, і не менше 120 кг для діаметра 6 мм і більше. Допускається до 10% мотків меншої маси, але не менше 30 кг.

Маса мотка звичайного дроту повинна бути 500–1500 кг, допускається поставка дроту в мотках масою 20–100 кг.

Мотки дроту зв'язують в бунти масою не більше 1500 кг, маса вантажного місця – 1500 кг. Вантажні місця пакують в транспортні пакети за ГОСТ 21929, ГОСТ 24597, ГОСТ 21650.

За згодою споживача з виробником арматурний дріт допускається поставляти в прутках мірної довжини.

Арматурні канати поставляють змотаними в бунти з внутрішнім діаметром не менше 1100 мм. Кінці каната, який змотаний в бунти, надійно прикріплюють до витків бунта. Маса бунта повинна бути не менше 1000 кг. На вимогу споживача допускається маса бунтів менше 1000 кг.

Довжина каната всіх діаметрів в бунтах повинна бути не менше 1000 м. Допускається: відхилення по довжині каната не більше 1,5%; для канатів всіх діаметрів відрізки довжиною менше 1000 м, але не менше 200 м в кількості не більше 30%, на вимогу споживача – в кількості не більше 10% від партії.

За домовленістю сторін канати пакують – замотують водонепроникним папером або покривають синтетичними матеріалами.

Арматурні канати поставляють не тільки в бунтах а й в спеціальних контейнерах.

3.5. Рекомендації до використання сталей

Вибір арматурної сталі необхідно робити в залежності від типу конструкції, наявності попереднього напруження, а також від умов будівництва і експлуатації будівель і споруд у відповідності з вказівками СНиП 2.03.01 [101] і з врахуванням необхідної уніфікації арматури конструкції за класами, діаметрами і т. д.

Для ненапружуваної арматури залізобетонних конструкцій слід використовувати:

– стержньову арматуру класу Ат-IVC (Ат600) – для поздовжньої арматури;

– стержньову арматуру класів А-III(А400) і Ат-IIIC(Ат400С) – для поздовжньої і поперечної арматури;

– арматурний дріт класу Вр-I – для поздовжньої і поперечної арматури;

– стержневу арматуру класів А-I(А240), А-II(А300) і Ас-II(Ас300) – для поперечної арматури, а також для поздовжньої арматури, якщо інші види ненапруженої арматури не можуть бути використані;

– стержневу арматуру класів А-IV(А600), Ат-IV(Ат600) і Ат-IVK(Ат600К) – для поздовжньої арматури в вязаних каркасах і сітках;

– стержневу арматуру класів А-V(А800), Ат-V(Ат800), Ат-VK(Ат800К), Ат-VCK(Ат800СК), А-VI(А1000), Ат-VI(Ат1000), Ат-VIK(Ат1000К), Ат-VII(Ат1200) – для поздовжньої стисненої арматури, а також для поздовжньої стисненої і розтягнутої арматури при змішаному армуванні конструкцій (наявність в них напружуваної і ненапружуваної арматури) в в'язаних каркасах і сітках.

Допускається як ненапружувану арматуру залізобетонних конструкцій використовувати арматуру класу А-IIIв(А550в) для поздовжньої розтягнутої арматури в в'язаних каркасах і сітках.

Арматуру класів А-III(А400), Ат-IIIC(Ат400С), Ат-IVC(Ат600С), Вр-I, А-I(А240), А-II(А300) и Ас-II(Ас300) рекомендується використовувати у вигляді зварних каркасів і сіток.

Допускається використовувати в зварних сітках і каркасах арматуру класів А-IIIв(А550в), Ат-IVK(Ат600К) (з сталі марок 10ГС2 і 08Г2С) і Ат-V(Ат800) (з сталі марки 20ГС) при виконанні хрестоподібних з'єднань контактно точковим зварюванням.

В конструкціях з ненапруженою арматурою, що знаходиться під тиском газів, рідин і сипких тіл, слід використовувати стержньову арматуру класів А-I(А240), А-II(А300), А-III(А400) і Ат-IIIC(Ат400С) і арматурний дріт класу Вр-I.

Для напружуваної арматури попередньо напружених конструкцій необхідно використовувати:

– стержньову арматуру класів А-V(А800), Ат-V(Ат800), Ат-VK(Ат800К), Ат-VCK(Ат800СК), А-VI(А1000), Ат-VI(Ат1000), Ат-VIK(Ат1000К), Ат-VII(Ат1200);

– арматурний дріт класів В-II, Вр-II і арматурні канати класів К-7 і К-19.

Для напружуваної арматури допускається використання стержньової арматуру класів А-IV(А600), Ат-IV(Ат600), Ат-IVK(Ат600К), А-IVC(А600С) і А-IIIв(А550в).

В конструкціях довжиною до 12 м включно необхідно переважно використовувати стержньову арматуру класів Ат-VII(Ат1200), Ат-VI(Ат1000) і Ат-V(Ат800) мірної довжини.

Для армування попередньо напружених конструкцій з легкого бетону класів В7,5–В12,5 слід використовувати стержньову арматуру класів А-IV(А600), Ат-IV(Ат600), Ат-IVК(Ат600К), А-IVС(А600С) і А-IIIв(А550в).

Як напружувану арматуру попередньо напружених залізобетонних елементів, що знаходяться під дією газів, рідин і сипких тіл необхідно використовувати:

– арматурний дріт класів В-ІІ, Вр-ІІ і арматурні канати класів К-7 і К-19;

– стержньову арматуру класів А-V(А800), Ат-V(Ат800), Ат-VК(Ат800К), Ат-VСК(Ат800СК), А-VI(А1000), Ат-VI(Ат1000), Ат-VIК(Ат1000К), Ат-VII(Ат1200)

– стержньову арматуру класів А-IV(А600), Ат-IV(Ат600), Ат-IVК(Ат600К), А-IVС(А600С).

В таких конструкціях допускається використання також арматури класу А-IIIв(А550в).

Як ненапружену арматуру конструкцій, призначених для експлуатації в агресивному середовищі, необхідно переважно використовувати арматуру класів А-IV(А600), а також класів Ат-VІК(Ат1000К), Ат-VК(Ат800К), Ат-VСК(Ат800СК), Ат-IVК(Ат600К) і арматуру інших видів у відповідності до СНиП 2.03.11.

При виборі виду і марок сталі для арматури, що встановлюються за розрахунком, а також прокатних сталей для закладних деталей повинні враховуватись температурні умови експлуатації конструкцій і характер їх навантаження (табл. 3.26).

Таблиця 3.26

Види і марки арматурної сталі для закладних деталей

Зусилля, що сприймають закладні деталі	Розрахункова температура, °С			
	до мінус 30 включно		нижче мінус 30 до мінус 40 включно	
	марка сталі за ГОСТ 380	товщина прокату, мм	марка сталі за ГОСТ 380	товщина прокату, мм
Розрахункові від статичних навантажень	ВСт3кп2	4–30	ВСт3псБ	4–25
Розрахункові від динамічних навантажень і тих, що багатократно повторюються	ВСт3псБ	4–10	ВСт3псБ	4–10
	ВСт3ГпсБ	11–30	ВСт3ГпсБ	11–30
	ВСт3спБ	11–25	ВСт3спб	11–25
Нерозрахункові (конструктивні) на силові дії	БСт3кп2	4–10	БСт3кп2	4–10
	ВСт3кп2	4–30	ВСт3кп2	4–30

Для монтажних (підйомних) петель елементів збірних залізобетонних і бетонних конструкцій повинна використовуватись гарячекатана арматурна сталь класу А-II(А300) марки 10ГТ і класу А-I(А240) марок ВСт3сп2 і ВСт3пс2. У випадку, якщо можливий монтаж конструкцій при розрахунковій зимовій температурі нижче мінус 40°С, для монтажних петель не допускається використовувати сталь марки ВСт3пс2.

З 1.01.1999 р. чинний ДСТУ 3760 «Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови». Стандарт поширюється на прокат арматурний гладкого та періодичного профілю діаметром від 5,5 до 40 мм, призначений для армування звичайних і попередньо напружених залізобетонних конструкцій.

Технічним комітетом з стандартизації «Арматура для залізобетонних конструкцій» Держбуду України в 2002 р. розроблені «Рекомендації з використання арматурного прокату за ДСТУ3760 при проектуванні та виготовленні залізобетонних конструкцій без попереднього напруження арматури» [93]. В них наведені: додаткові вказівки для розрахунку при використанні арматурного покату класу А500С, виконанню зварних з'єднань та вимоги до анкерування арматури серповидного профілю, прийнятих на підставі відповідних положень норм проектування іноземних країн і Європейських норм (Eurocode 2), вказівки до контролю якості збірних залізобетонних конструкцій з арматурою класу А500С при випробувані навантаженням.

3.6. Зберігання арматурної сталі

На зберігання арматурної сталі розповсюджується дія двох нормативних документів – ДСТУ 3058 [36] і ГОСТ 15150 [75].

Окремі вимоги до зберігання арматурної сталі і виробів наведені в нормативній документації на конкретний вид продукції.

Арматурну сталь і арматурні вироби, які надходять на об'єкт, зберігають на стелажах під навісом або у закритих неопалюваних приміщеннях, розрахованих на 20–25-добовий запас.

Високоміцну арматуру необхідно зберігати в сухих закритих складських приміщеннях з відносною вологістю повітря не більше 60%. Не допускається зберігання такої арматури на земляній підлозі, агресивних чи заражених агресивними речовинами підкладках, а також поблизу місцезнаходження чи виділення агресивних речовин (солі, гази, аерозолі).

Допустимими корозійними ураженнями арматури вважаються такі, при яких наліт іржі може бути видалений протиранням сухим ганчір'ям.

Склад повинен мати умови для приймання арматурної сталі з піввагонів, залізничних платформ і автотранспорту. Розвантажують сталь з транспортних засобів мостовим краном.

Арматурну сталь в бунтах і товарні сітки складають під навісами на бетонній підлозі чи на дерев'яних підкладках. Арматурну сталь, яку доставляють у бухтах, зберігають на складі, розміщують у спеціальних стелажах (рис. 3.13) і транспортують зі складу до арматурного цеху кранами з вилковими захватами.

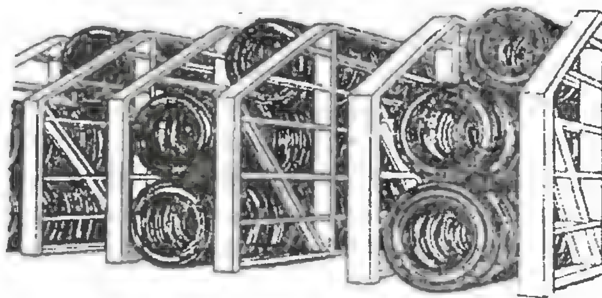


Рис. 3.13. **Стелажі для зберігання дротяної арматури, що поставляється в мотках**

Під час зберігання арматурних канатів, необхідно забезпечити антикорозійні умови збереження; забороняється укладати канати на ґрунтову підлогу.

Стержневу арматуру зберігають у стелажах або штабелях заввишки до 2 м. Для зберігання рекомендують застосовувати також спеціальні касети, які встановлюють одна на одну по висоті і використовують для транспортування стержнів (рис. 3.14).

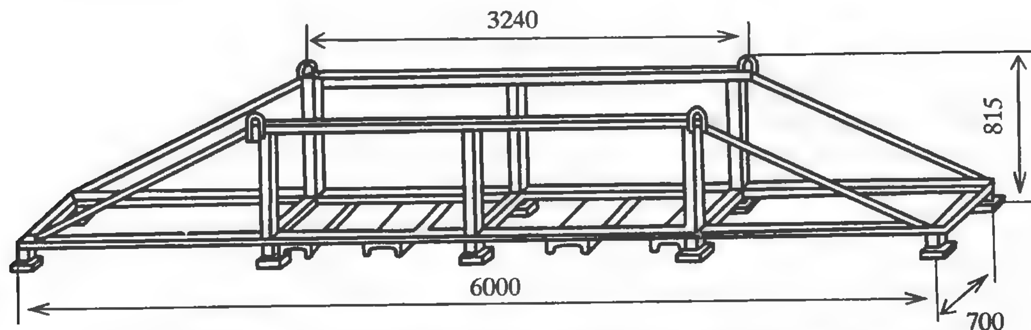


Рис. 3.14. **Касета для зберігання і транспортування стержньової арматури**

Пакети плоских сіток і каркасів зберігають окремо за марками у штабелях заввишки не більше як 2 м. Рулони сіток складають не більше ніж

в три яруси, і зберігають у вертикальному положенні в спеціальних відсіках. При зберіганні кожний пакет сіток повинен спиратися на дерев'яні підкладки і прокладки товщиною не менше 30 мм. Підкладки під сітки слід укладати на щільну, добре вирівняну основу. При зберіганні сіток в штабелях прокладки між пакетами по висоті штабеля повинні бути розташовані по вертикалі одна над одною.

При складуванні передбачають створення вільних проходів між штабелями шириною не менше як 0,5 м.

На складах відводять постійні місця для зберігання окремих видів арматури, товарної сітки, закладних деталей, супроводжуючи їх табличками з назвами виду, класу та діаметра арматури, ярлики арматури, що зберігаються, повинні бути навиду.

Перевозять арматурну сталь зі складу до арматурного цеху або самохідними візками, або автотранспортом.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Назвіть існуючі класи арматурного прокату.
2. Як поділяють арматурний прокат за видом поверхні? Назвіть особливості використання арматури з серповидним профілем.
3. Вимоги до сортаменту стержньової арматури, дроту і дротяних арматурних виробів.
4. Яку арматуру використовують, як ненапружену в залізобетонних конструкціях?
5. Назвіть класи арматурного прокату, що використовують для напружуваної арматури попередньо напружених конструкцій.
6. Розкрийте поняття: «арматурний канат однократного сукання» і «арматурний канат багатократного сукання». Конструкції арматурних канатів.
7. Охарактеризуйте механічні властивості арматури класів А500С і Ат500.
8. Вимоги до механічних властивостей холоднотягнутого дроту Вр-І. Особливість діаграми розтягування дроту Вр-І.
9. Охарактеризуйте діаграми розтягування гарячекатаної, термомеханічної сталі і дроту.
10. Які переваги мають вуглецевий холоднотягнутий дріт і арматурні канати у порівнянні з стержньовою арматурою?
11. Назвіть вимоги до зварюваності арматурного прокату. Вуглецевий еквівалент.
12. Назвіть способи пакування арматурних сталей. Яка арматура поставляється в бунтах?
13. Назвіть особливості зберігання арматурних сталей.

РОЗДІЛ 4

ВИДИ АРМАТУРНИХ ВИРОБІВ

4.1. Загальні положення

Арматурний виріб – складова частина залізобетонного виробу, виготовлена у вигляді лінійної, плоскої або просторової системи з арматурних сталевих стержнів, дротяних жмутів та пакетів або канатів, арматурних сіток, плоских, об'ємних та просторових каркасів [34]. Тобто, до арматурних виробів відносять: окремі стержні заданих розмірів; арматурні сітки; плоскі і просторові арматурні каркаси; монтажні петлі; закладні деталі; арматурні елементи для попереднього напруження.

Сітки і каркаси можуть бути в'язаними і зварюваними.

Зв'язуванні арматурні вироби використовують при незначних об'ємах арматурних робіт у випадках [114]:

– коли точкове і дугове зварювання не допускається, наприклад для з'єднання напружуваної канатної арматури, високоміцного дроту і термічно зміцненої арматури з спіральною розподільчою арматурою лінійних елементів, з сітками опорних частин балок і ферм;

– коли не вдається з'єднати арматурні стержні за допомогою точкового зварювання, наприклад при складанні арматури консолей колон, густоармованих вузлів ферм і балок;

– при виготовленні окремих нетипових виробів на заводах;

– при відсутності обладнання для зварювання важких плоских каркасів контактно-точковим зварюванням і використання замкнених хомутів діаметром до 10 мм в каркасах колон, дугове зварювання яких не допускається;

– при укрупненні арматурних каркасів в умовах будівельного виробництва.

Зв'язування арматурних сіток і каркасів, у порівнянні з виготовленням їх зварюванням, потребує більших трудовитрат і збільшення витрат металу на 15–20% за рахунок виготовлення відгинань і крюків на кінцях стержнів, необхідних для анкерування останніх в бетоні. Крім того, зв'язані арматурні сітки і каркаси не мають необхідної жорсткості.

В залежності від діаметрів стержнів і розташування вузлів розрізняють такі основні типи дротяних вузлів (перетинів): простий, кутовий, дворядний, подвійний, хрестовий і мертвий (рис. 4.1).

Шляхом зв'язування дротом закріплюють стержні діаметром до 16 мм. Стержні більших діаметрів допускається закріплювати прихватком з до-

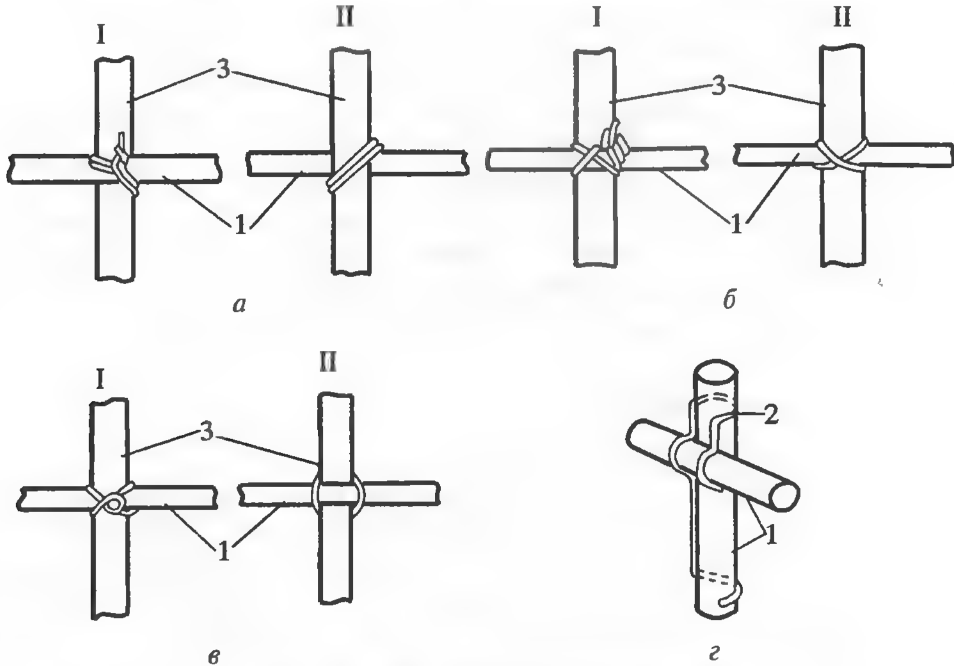


Рис. 4.1. **Основні типи дротяних вузлів:**
а – дворядний вузол; *б* – хрестовий вузол; *в* – мертвий вузол; *г* – сполучення стержнів з'єднувальним елементом;
1, 3 – поздовжні і поперечні стержні; 2 – з'єднувальний елемент;
I – вид спереду; II – вид ззаду

помогою дугового зварювання, якщо неможливо використання більш ефективних способів кріплення. Перев'язкою чи прихватком повинно бути з'єднано не менше половини вузлів каркасу; кутові вузли необхідно з'єднувати повністю.

Замість відносно трудомісткого зв'язування арматурних вузлів допускається використання з'єднувальних фіксаторів, виготовлених з круглого сталистого дроту. Не слід плутати ці фіксатори, які також називають скріпками, з фіксаторами, що використовують для створення необхідної товщини захисного шару бетону від арматури до поверхні конструкції.

Найбільш широко використовують зварювані арматурні і закладні вироби, особливо в заводських умовах. Такі вироби мають ряд переваг порівняно зі зв'язаними – забезпечують жорсткість і міцність каркасів, рівномірний розподіл напружень у робочій арматурі, що дає можливість зменшити переріз розподільчої арматури; надійне заанкерування арматури в бетоні, що дозволяє відмовитися від гаків на кінцях стержнів; спрощення конфігурації арматурних стержнів. Слід віддавати перевагу застосуванню зварних арматурних елементів.

Конструкція, типи, способи зварювання, умови експлуатації, а також основні розміри зварних з'єднань наведені в додатку Г [24, 105].

Вибирають з'єднання виходячи з наступних умов:

– використання з'єднань і технології зварювання, які забезпечують найбільш високу експлуатаційну надійність і повне використання механічних властивостей арматурної сталі;

– максимально можливого скорочення матеріальних і трудових витрат на виконання з'єднання, з використанням автоматизованих і механізованих способів зварювання, ефективних і високоякісних зварювальних матеріалів, ефективних методів контролю якості.

4.2. Арматурні сітки

4.2.1. Плоскі сітки

Арматурна сітка – сукупність арматурних стержнів, що розташовані у двох взаємно перпендикулярних напрямках і з'єднанні у місцях перетину зварюванням або в'язальним дротом [34]. Сітки виготовляють з арматурної сталі діаметром від 3 до 40 мм включно, при цьому в одному напрямі розміщені стержні одного діаметра. Арматурні сітки призначені для армування збірних і монолітних залізобетонних конструкцій і виробів.

Сітки виготовляють у відповідності з вимогами чинних нормативних документів [22, 25]. Разом зі стандартними сітками (товарними) для армування залізобетонних конструкцій використовують нестандартні сітки за специфікаціями, робочими кресленнями і іншою технологічною документацією, затвердженою у встановленому порядку.

Арматурні сітки поділяють:

– за формою чарунок:
  – з квадратними;
  – з прямокутними;
– за діаметром стержнів:
  – важкі – сітки, що мають в одному напряму стержні діаметром 12 мм і більше;
  – легкі – сітки з поздовжніми і поперечними стержнями діаметром від 3 до 10 мм включно;
– за розташуванням робочої арматури:
  – з робочою арматурою в одному з напрямів (поздовжньому чи поперечному) і розподільчою арматурою в іншому;
  – з робочою арматурою в обох напрямах.

Сітки виготовляють плоскими чи рулонними [22, 25]. Рулонними виготовляють легкі сітки з поздовжніми стержнями з арматурного дроту діаметром від 3 до 5 мм включно.

Стандартні арматурні сітки виготовляють 5-ти типів (рис. 4.2).

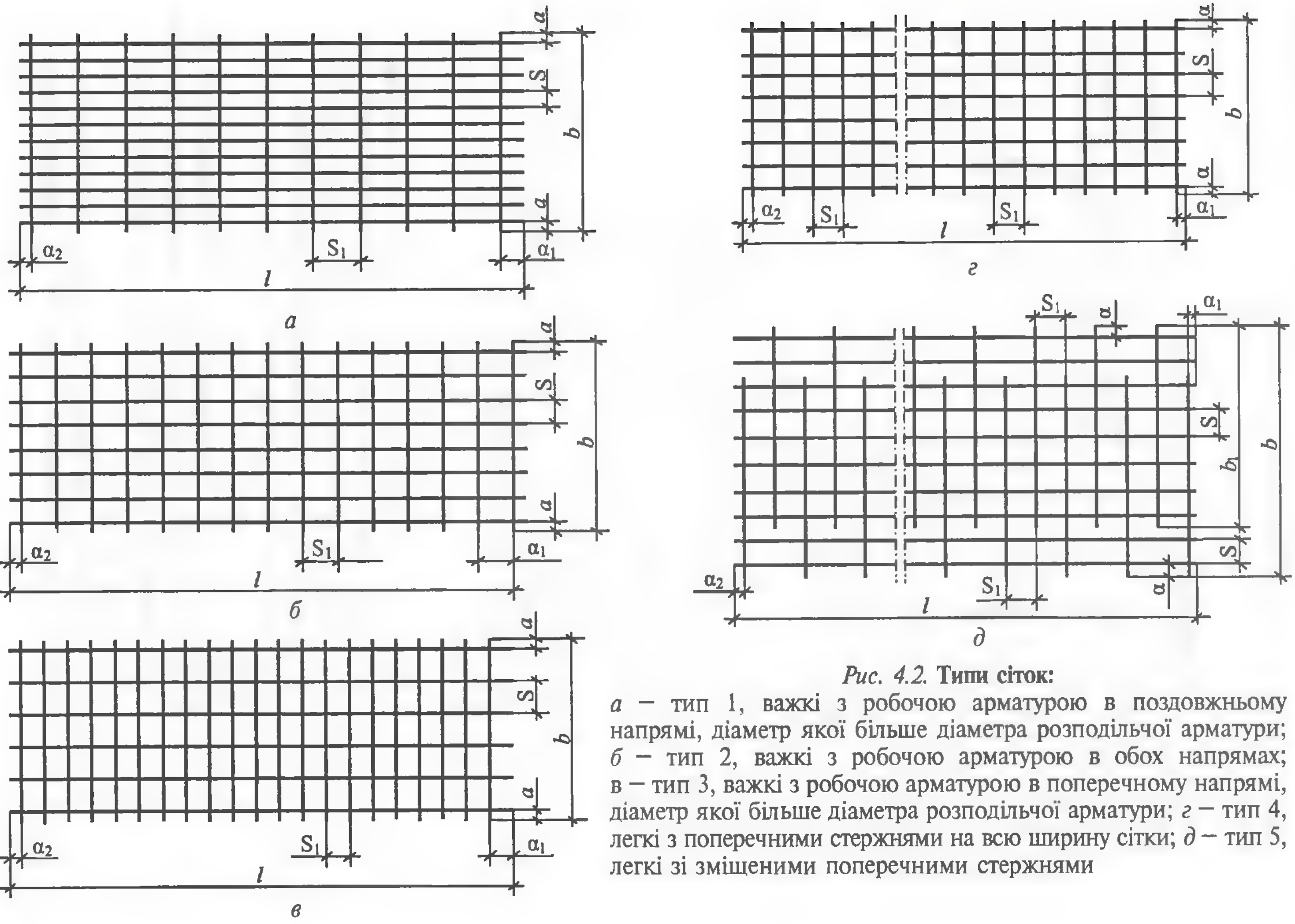


Рис. 4.2. **Типи сіток:**

а – тип 1, важкі з робочою арматурою в поздовжньому напрямі, діаметр якої більше діаметра розподільчої арматури; *б* – тип 2, важкі з робочою арматурою в обох напрямах; в – тип 3, важкі з робочою арматурою в поперечному напрямі, діаметр якої більше діаметра розподільчої арматури; *г* – тип 4, легкі з поперечними стержнями на всю ширину сітки; *д* – тип 5, легкі зі зміщеними поперечними стержнями

Основні параметри сіток наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Геометричні параметри арматурних сіток

Розміри в мм

Вид сітки	Тип сітки	Ширина сітки, *b*	Довжина сітки, *l*	Діаметри стержнів $d \backslash d_1$	Відстань між стержнями (в осях) – крок стержнів		Розміри випусків стержнів	
					поздовжніх, *S*	поперечних, S_1	поздовжніх, α	поперечних, α_1 і α_2
Важкі	1	від 650 до 3050	від 850 до 9000	$\frac{12-40}{6-16}$	200	600	25	кратно 25
	2		від 850 до 5950	$\frac{12-25}{6-16}$		200	кратно 25	
	3	від 850 до 3050	від 850 до 6250	$\frac{6-16}{12-25}$	200	400		
Легкі	4	від 650 до 3800	від 850 до 9000 чи до довжини рулону	$\frac{3-10}{3-10}$	100 (150) 200 300 400 500	100 (75) 150 (125) 200 (175) 250 300 400	25	
	5		від 3950 до 9000 чи до довжини рулону	$\frac{3-5}{5-10}$				

Примітки. 1. Відстані між поздовжніми і поперечними стержнями легких сіток, що зазначені в дужках, допускається приймати при техніко-економічному обґрунтуванні.

2. Відношення меншого діаметра стержня до більшого повинно бути не менше 0,25.

3. Відстань між стержнями – основний крок стержнів в одному напрямі (S, S_1) слід приймати однаковим.

Як робочу арматуру для важких сіток використовують стержньову гарячекатану арматурну сталь класу А-III(А400) діаметром 12–40 мм і термомеханічно зміцнену арматурну сталь класу Ат-IIIС(Ат400С) діаметром 12–18 мм. За техніко-економічним обґрунтуванням як робочу арматуру допускається використовувати пруткову арматуру класів А-I(А300) і А-I(А240) діаметром 12–32 мм.

Як розподільчу арматуру для важких сіток типу 1 використовують арматурну сталь класів А-III(А400) і Ат-IIIС(Ат400С) діаметром 6–16 мм, в сітках типу 3 – арматурну сталь класу А-II(А300) діаметрами 10–16 мм і класу А-I(А240) діаметрами 6–16 мм.

Легкі сітки виготовляють з арматурного дроту класу Вр-I діаметрами 3–5 мм та стержньової арматури класів А-III(А400) і А-I(А240) діаметрами 6–10 мм.

Сітки позначають марками такої структури:

$$xC\frac{d}{d_1}b \times l,$$

де x – позначення типу сітки; C – літерне позначення найменування зварної сітки (з додаванням до рулонних сіток індексу «р» – Ср); d, d_1 – діаметри відповідно поздовжніх і поперечних стержнів, із зазначенням класу арматурної сталі; b, l – відповідно ширина і довжина сітки в сантиметрах.

В позначення марки сітки додатково наводять:

– для легких сіток, а також важких сіток типу 3, з основним кроком поздовжніх стержнів 400 мм, після позначення діаметра стержнів, через тире, значення кроку стержнів в міліметрах;

– для сіток з добірним кроком, відповідно над рискою чи під рискою, в дужках, значення добірного кроку поздовжніх чи поперечних стержнів в міліметрах;

– для сіток з розмірами випусків поперечних і поздовжніх стержнів, які відрізняються від 25 мм, марку сітки після позначення довжини сітки доповнюють виразом:

$$\frac{a_1 + a_2}{a},$$

де a_1, a_2 – значення випусків поздовжніх стержнів, при умові $a_1 = a$ наводять тільки одне значення) в міліметрах; a – значення випусків поперечних стержнів в міліметрах.

Приклад умовного позначення рулонної сітки типу 5 з поздовжніми і поперечними стержнями з арматурного дроту класу Вр-І діаметром 5 мм, з основним кроком поздовжніх стержнів 200 мм і добірним – 100 мм, з кроком поперечних стержнів 150 мм, шириною 2340 мм і довжиною 120000 мм, з випусками поздовжніх стержнів 125 і 175 мм, з випусками поперечних стержнів 20 мм:

$$5Cp\frac{5BpI - 200(100)}{5BpI - 150}234 \times 12000\,\frac{125 + 175}{20}.$$

В зварних сітках хрестоподібні з'єднання стержнів здійснюють контактно-точковим зварюванням (додаток Г). В сітках з робочою арматурою з гладкої стержньової арматурної сталі класу А-І(А240) повинні бути зварені всі перетини стержнів. В сітках з робочою арматурою періодичного профілю допускається зварювання перетину стержнів через один чи через два перетини в шаховому порядку, якщо в робочих кресленнях відсутні спеціальні вказівки.

В зварних арматурних сітках допускається наявність не більше двох не зварених перетинів стержнів на площі 1 м^2 сітки з числа перетинів, що підлягають зварюванню.

4.2.2. Гнуті сітки

Гнуті сітки, їх ще називають просторовими каркасами, застосовують для армування деяких залізобетонних конструкцій масового використання. Наприклад для армування багатопорожнинних плит.

При утворенні просторових каркасів з використанням гнутих сіток рекомендується використовувати гнуті сітки з контурами за типами, наведеними на рис. 4.3 *а*, що отримують на стандартному обладнанні. При масовому виготовлені допускають використання гнутих сіток і інших контурів, наприклад, за типами, наведеними на рис. 4.3 *б*, виготовлення яких потребує спеціального обладнання чи пристроїв [94, 114].

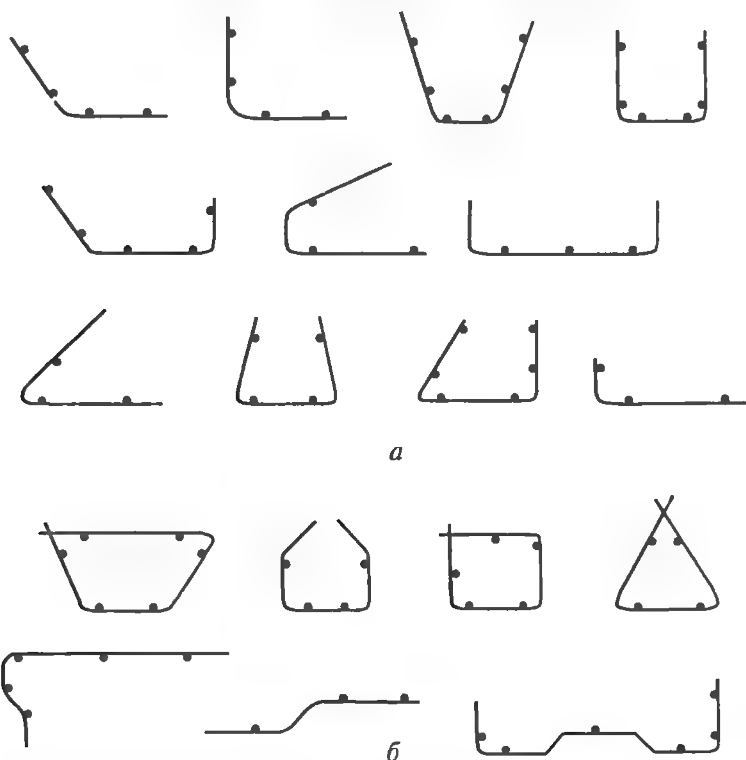


Рис. 4.3. **Приклади контурів гнутих зварних сіток:**
а – рекомендовані, виготовляють на стандартному обладнанні; *б* – допустимі, потребують нестандартного обладнання чи пристроїв.

Примітка. Розміщення прямих поздовжніх стержнів показано умовно

Параметри сіток повинні відповідати таким вимогам:

– довжина сіток не більш 6 м, за згодою з заводом-виробником допускається до 9 м;

– довжина ділянки, що відгинається – не менше 50 мм;

– кути загину, α – не більше 120°;

– діаметри стержнів, що вигинаються з сталі класу А-І(А240) – не більше 12 мм, класів А-ІІ(А300) і А-ІІІ(А400) не більше 10 мм, Вр-І – будь-який.

Більш детально параметри гнутих сіток, які визначають з врахуванням класів сталі, що використовується, а саме діаметри стержнів гнутих зварних сіток, радіуси і кути загину, розташування поздовжніх стержнів, розглянуто на рис. 4.4.

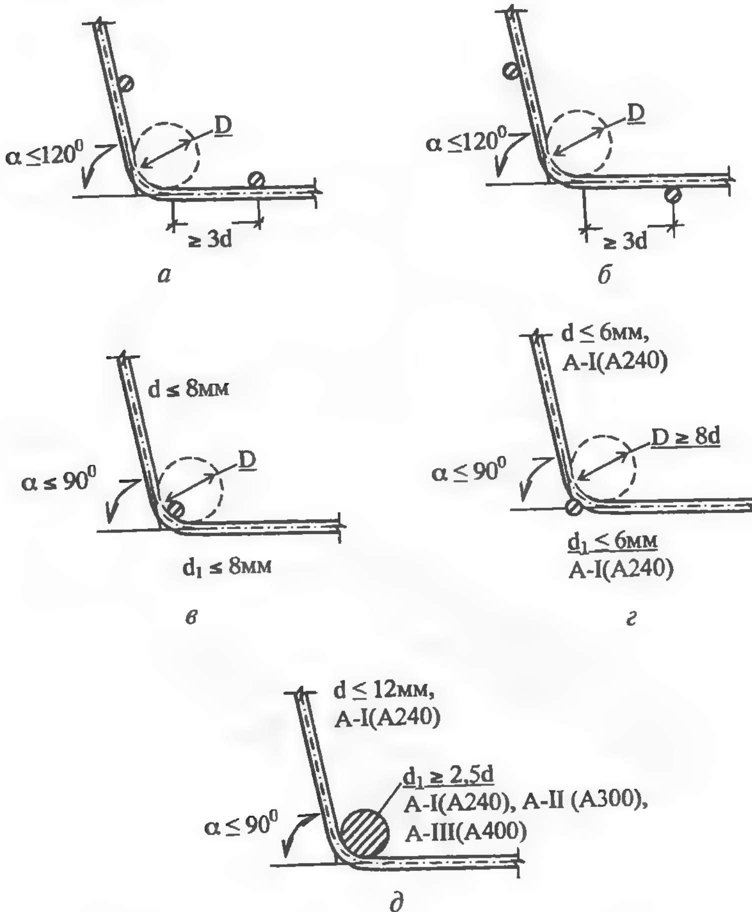


Рис. 4.4. **Параметри гнутих зварних сіток:**

а – місце загину сітки віддалено від поздовжніх стержнів, розташованих з внутрішнього боку; *б* – місце загину сітки віддалено від поздовжніх стержнів, розташованих з зовнішнього боку; *в* – місце загину сітки співпадає з поздовжнім стержнем, розташованим з внутрішнього боку, при використанні класу А-І(А240) – $D \geq 4d$, при А-ІІІ(А400) – $D \geq 8d$; *г* – місце загину сітки співпадає з поздовжнім стержнем, розташованим з зовнішнього боку; *д* – місце загину сітки співпадає з поздовжнім стержнем, при крупних діаметрах поздовжніх стержнів;

d – діаметр гнутого стержня; d_1 – діаметр поздовжнього стержня; D – внутрішній діаметр загину стержня

Готові плоскі зварні арматурні сітки гнуть [114]:

– коли за проектом залізобетонних конструкцій передбачено армування гнутими сітками;

– коли потрібні просторові каркаси фасонного типу;

– коли трудомісткість виготовлення об'ємного каркасу з плоскої сітки суттєво знижується у порівнянні з виготовленням цих арматурних виробів з плоских каркасів і стержнів.

4.3. Арматурні каркаси

Арматурний каркас – робоча, розподільча і монтажна арматура залізобетонного виробу, що з'єднана зварюванням або в'язальним дротом у відповідну площинну, просторову або об'ємну систему [34].

4.3.1. Плоскі арматурні каркаси

Плоский арматурний каркас – сукупність поздовжніх та поперечних арматурних стержнів, які розташовані у одній площині та з'єднанні у місцях перетину зварюванням або в'язальним дротом [34]. Поздовжня арматура в каркасі створює один чи два пояси, а поперечні стержні з'єднуються поздовжніми (рис. 4.5).

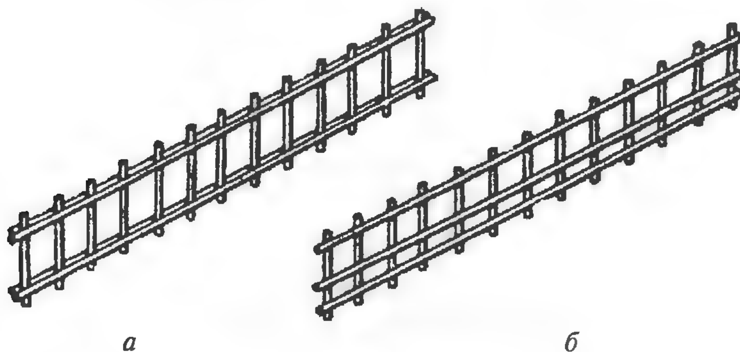


Рис. 4.5. **Загальний вигляд плоских арматурних каркасів:**
а – з двобічним розміщенням стержнів; *б* – з однобічним розміщенням стержнів

Плоскі каркаси виготовляють у вигляді відносно вузьких і довгих виробів з робочих поздовжніх і розподільчих поперечних стержнів. Іноді плоскі каркаси називають вузькими сітками, щоб не плутати їх з просторовими каркасами.

Плоскі арматурні каркаси застосовують і як готові арматурні вироби, і як напівфабрикати при виготовленні просторових каркасів.

Плоскі арматурні каркаси поділяють:
- за розташуванням робочих стержнів (рис. 4.6) на:
  - однобічні;
  - двобічні;
- за діаметром стержнів на:
  - важкі – каркаси із стержнів діаметром 12 мм і більше;
  - легкі – каркаси із стержнів діаметром від 3 до 10 мм включно;
- за розмірами на:
  - вузькі – каркаси шириною менше 500 мм;
  - широкі – каркаси з шириною більше 500 мм.



Рис. 4.6. **Розташування робочих стержнів в каркасах:**
а – однобічне; *б* – двобічне

Типи і розміри каркасів масового застосування наведені на рис. 4.7 та в табл. 4.2, двогілкові каркаси обмеженого застосування наведені на рис. 4.8. Найбільшого розповсюдження набули двогілкові каркаси з різним кроком поперечних стержнів та різним діаметром поздовжніх стержнів (рис. 4.8 *а* і *б*).

Таблиця 4.2

Геометричні параметри каркасів

Розміри в мм

Тип каркасів	Довжина каркасу, *l*	Ширина каркасу, *b*	Розміри випусків стержнів		Відстань між стержнями (в осях) – крок стержнів			Діаметри стержнів	
			поздовжніх, а	поперечних, a_1	поздовжніх,		поперечних, S_2	$d_1(d_1')$	d_2
					S	S_1			
I	до 7200	75–725	15–300	15–200	не менше 100	50,75 і більше	100, 150, 200, 250, 300, 350, 400	5–16	4–12
II		200–725							
III		200–725							
IV		300–725							
V		400–725							

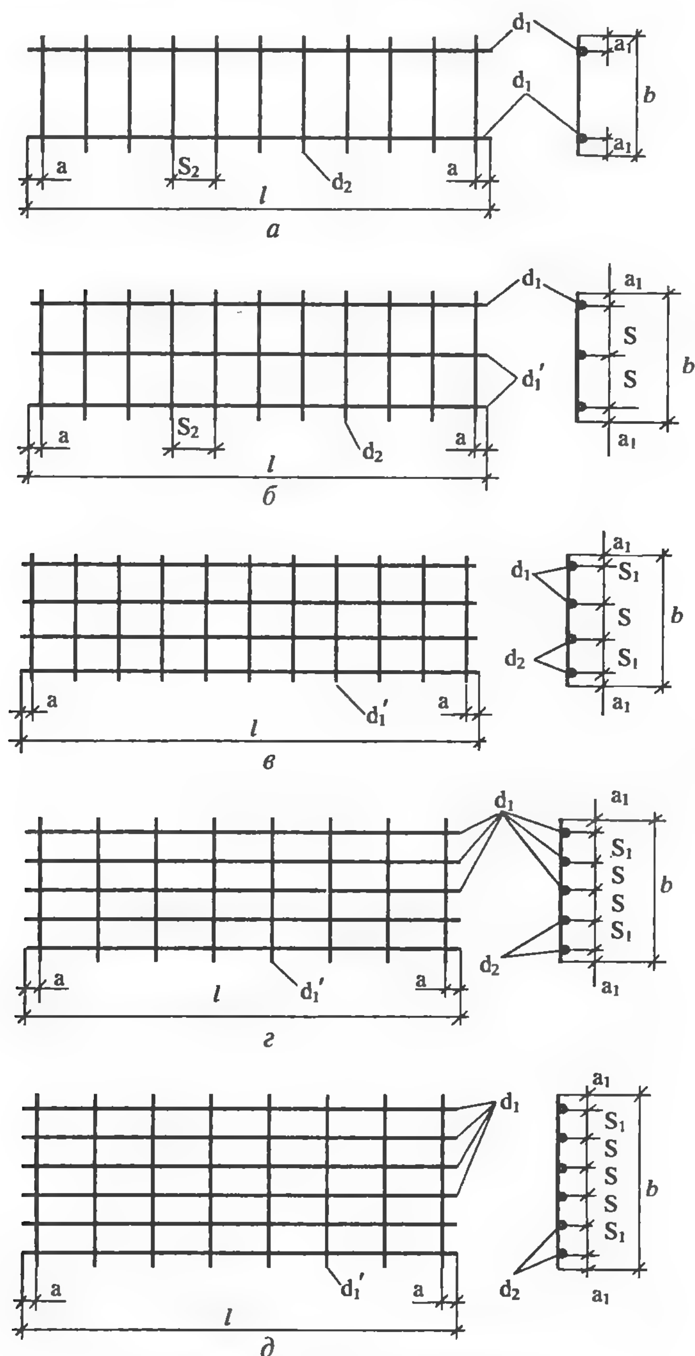


Рис. 4.7. **Каркаси масового застосування:**
а – тип I, двогілкові; *б* – тип II, тригілкові; *в* – тип III, чотиригілкові; *г* – тип IV, п'ятигілковий ; *д* – тип V, шестигілковий

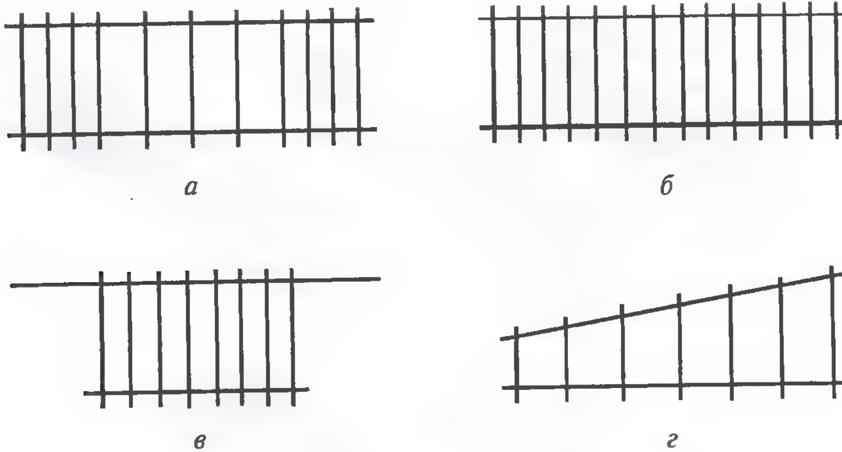


Рис. 4.8. **Двогілкові каркаси обмеженого застосування:**
а – тип VI, з різним кроком поперечних стержнів; *б* – тип VII, з різними діаметрами поздовжніх стержнів; *в* – тип VIII, з різним випуском поздовжніх стержнів за поперечні; *г* – тип IX, з непаралельними поздовжніми стержнями

Каркаси встановлюють у конструкціях, що працюють на згинання, у розтягнутій зоні, чим, найчастіше, забезпечують повну систему армування конструкцій в площинах перпендикулярних до діючих навантажень (нижні каркаси плит), а також по висоті конструкцій в площинах, паралельних діючим зусиллям (каркаси для балок, прогонів тощо).

4.3.2. Просторові арматурні каркаси

Просторовий арматурний каркас – просторова система, одержана із заздалегідь виготовлених плоских арматурних каркасів, сіток, окремих стержнів, стропувальних петель, закладних елементів внаслідок їх поєднання зварюванням або в'язанням [34].

Розрізняють також таке поняття як об'ємний арматурний каркас (рис. 4.9 *а, д*). *Об'ємний арматурний каркас* – сукупність поздовжньої робочої арматури та поперечної розподільчої у вигляді намотаної із арматурного дроту спіралі або заздалегідь заготовлених хомутів, що з'єднуються поміж собою контактним точковим зварюванням або в'язальним дротом, утворюючи замкнену циліндричну або прямокутну систему [34].

Просторові каркаси виготовляють із робочої, розподільчої та монтажної арматури, яка в комплексі забезпечує повну систему армування конструкції. Просторові каркаси бувають (рис. 4.9):

– *прямокутного* і *квадратного* перерізів для армування колон, стояків, прогонів;

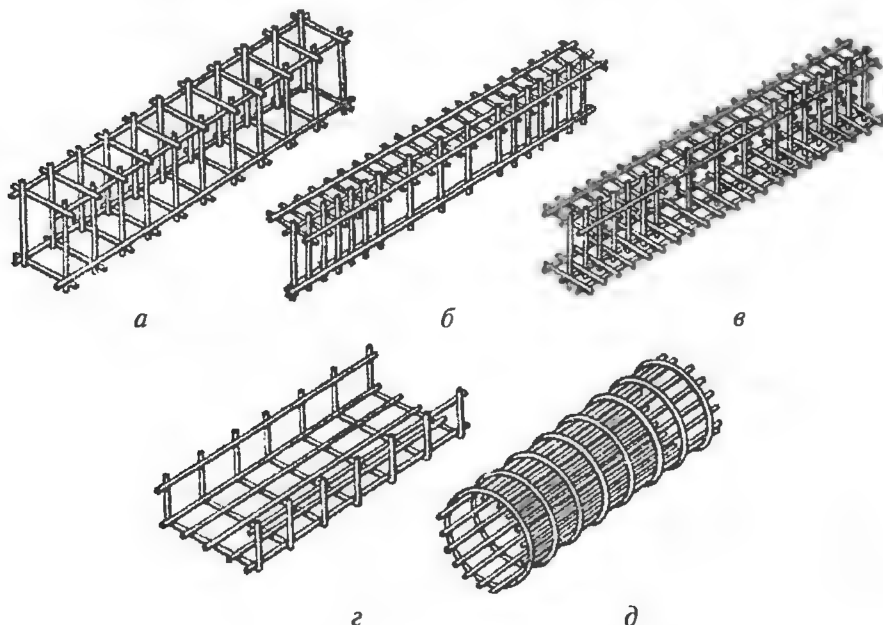


Рис. 4.9. **Просторові арматурні каркаси:**
а — прямокутного перерізу; *б* — таврового перерізу; *в* — двотаврового перерізу; *г* — П-подібного перерізу; *д* — круглого (криволінійного) перерізу

— *таврового* і *двотаврового* перерізів для армування балок, прогонів і ригелів;

— *круглого* перерізу для армування виробів, що мають форму тіл обертання (труби, опори, палі);

— *П-подібного* перерізу для армування лотків, каналів, вентиляційних і санітарно-технічних блоків та спеціальних панелей.

Просторові каркаси можуть виконуватись цілком на виріб у вигляді, виготовлених раніше просторових блоків, що використовуються в поєднанні з плоскими чи гнутими сітками, окремими стержнями тощо [81, 95].

Закладні деталі і стропувальні пристрої — петлі, трубки і т. п., бажано заздалегідь прикріплювати до просторового каркасу.

4.4. Монтажні (стропувальні) петлі

В елементах збірних конструкцій передбачають такі заходи для захвату їх при підніманні: інвентарні монтажні петлі, що вигвинчуються; стропувальні отвори із сталевими трубками; стаціонарні монтажні петлі з арматурних стержнів.

Стропова (стропувальна) петля – елемент бетонного або залізобетонного виробу, що призначений для піднімання виробу вантажопідйомними механізмами [34].

Монтажні (стропувальні) петлі елементів збірних залізобетонних і бетонних конструкцій виготовляють згідно з вимогами СНиП 2.03.11 [102]. Для виготовлення петель використовують гарячекатану арматурну сталь класу А-ІІ(А300) марки 10ГТ і класу А-І(А240) марок ВСт3сп і ВСт3пс. Сталі цих класів завдяки високим пластичним властивостям, а клас А-І(А240) ще й завдяки гладкій поверхні, менше схильні до крихкості.

В залізобетонних конструкціях переважно використовують уніфіковані монтажні (стропувальні) петлі. Основні типи монтажних петель наведені на рис. 4.10 [95].

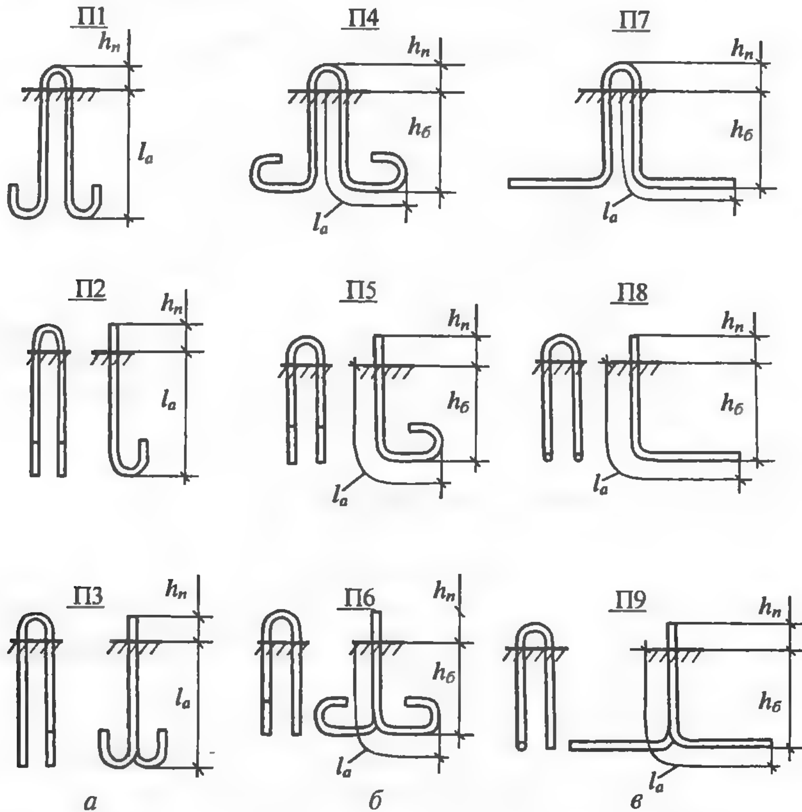


Рис. 4.10. **Основні (рекомендовані) типи стропувальних петель:**
а – з сталі класу А-І(А240) чи А-ІІ(А300), що вільно розташовуються в виробах; *б*, *в* – з сталі класу А-І(А240) чи А-ІІ(А300), що розташовуються в стиснених умовах: *б* – з сталі класу А-І(А240); *в* – те ж, А-ІІ(А300);
h_n – висота проушини; $h_б$ – глибина запуску кінців гілок петлі в бетон; l_a – довжина запуску кінців гілок петлі в бетон

В першу чергу рекомендується використовувати петлі типів П1, П2 і П3, як найбільш прості у виготовленні. Петлі типів П4-П9 рекомендується використовувати в тих випадках, коли петлі П1, П2 і П3 не можна розташувати в виробі [95].

Діаметри стержнів петлі (*d*) приймають в залежності від нормативного зусилля, що припадає на петлю. Так, для арматури класу A-I(A240) можуть бути петлі d = 6÷32 мм, для A-II(A300) марки 10ГТ – *d* = 10÷32 мм.

Розміри петель приймають із умов машинного виробництва. Розміри петель з прямими і відігнутими гілками, що найчастіше використовуються в будівництві, наведені в табл. 4.3. Гілки петель з сталі класу A-I(A240) повинні закінчуватись крюками.

Таблиця 4.3

Розміри стропувальних петель

Ескіз	Позначення	Розміри, мм			
	d	6÷12	14÷18	20÷22	25÷32
	R	30	30	40	60
	r	20	30	40	60
	d_1	30	50	70	100
	d_2	75	115	155	230

Примітка. В необхідних випадках допускається розташовувати гілки петлі під кутом одна до одної, що не перевищує 45°.

4.5. Закладні елементи (закладні деталі)

Зварний закладний елемент (металевий) – частина залізобетонного виробу, що призначена для з'єднання виробів між собою в процесі монтажу, яка складається з плоских деталей або деталей із профільного прокату та приварених до них анкерів [34].

Закладні деталі призначені для з'єднання збірних залізобетонних виробів між собою і монолітних конструкцій із збірними, для утворення жорсткого каркасу під час зведення будівель та споруд.

На 1 м^3 збірних конструкцій в середньому витрачається 8 кг металевих закладних деталей, а для деяких типів колон і ригелів – 40÷80 кг [97].

Закладні деталі звичайно складаються з пластин (відрізків полосової, кутикової чи фасонної сталі) з привареними до них анкерами, призначеними для закріплення закладних деталей в бетоні конструкцій. Типи зварних з'єднань анкерних стержнів і пластин та вимоги до них подані в

додатку Г. Допускається заанкерування закладної деталі в бетон шляхом приварювання її до робочої арматури.

Для застосування в залізобетонних конструкціях рекомендують переважно уніфіковані закладні деталі: зварені з профільного прокату, зварені з гнутоштампованого листа і штамповані.

Розміри і товщина пластин і діаметр анкерів залежать від виду елементів, що стикуються та навантажень, які сприймають закладні деталі. Товщина пластин повинна бути не менше 6 мм, а товщина стінок чи поличок фасонного прокату, до яких приварюються анкери і з'єднувальні деталі – не менше 5 мм [114]. В великих пластинах, що знаходяться при формуванні зверху виробу, передбачають отвори для виходу повітря і контролю якості бетонування.

Плоскі елементи закладних деталей виготовляють з листа або штабової сталі марок – ВСт3пс, ВСт3кп. Анкери закладних деталей виготовляють, в основному, з арматури класів А-II(А300) і А-III(А400). Анкери з сталі класу А-I(А240) повинні мати на кінцях крюки, шайби чи висаджені головки. Довжину заготовок анкерів приймають кратною 10 мм. Анкерні стержні розміщують на пластині симетрично однієї з її осей, а їх кількість повинна бути парною [95].

Зварні закладні вироби поділяють на два основних типи: відкриті і закриті.

В залежності від розташування анкерних стержнів відносно плоского елемента розрізняють закладні вироби з паралельним, перпендикулярним, похилим чи змішаним розташуванням анкерних стержнів. Типи закладних виробів і взаємне розташування їх елементів наведено на рис. 4.11.

Закладні деталі можуть також мати пристрої для кріплення до форм (наприклад отвори в пластинах), упори для запобігання зсування, арматурні коротуни, що слугують для фіксування положення робочої арматури чи закладних деталей, болти для з'єднання збірних елементів і т. д. (рис. 4.12).

Всі закладні деталі повинні мати антикорозійне захисне покриття. *Антикорозійне покриття* – лакофарбове, газотермічне, гальванічне або комбіноване покриття, яке наноситься на поверхню арматурного виробу або закладного елемента для захисту його від корозії [34]. Захисне покриття наносять на обидва боки пластини, анкерні стержні покривають на довжину 50 см від місця приварювання до пластин.

Надійність і довговічність з'єднань збірних залізобетонних елементів в значній мірі залежать від способу протикорозійного захисту закладних деталей, захист від корозії проводять згідно з вимогами СНиП 2.03.11 [102]. На закладні деталі наносять захисні покриття із неорганічних речовин (суспензії, покриття на основі рідкого скла, металеві покриття і неорганічні емалі) та бітумні мастики і пасти.

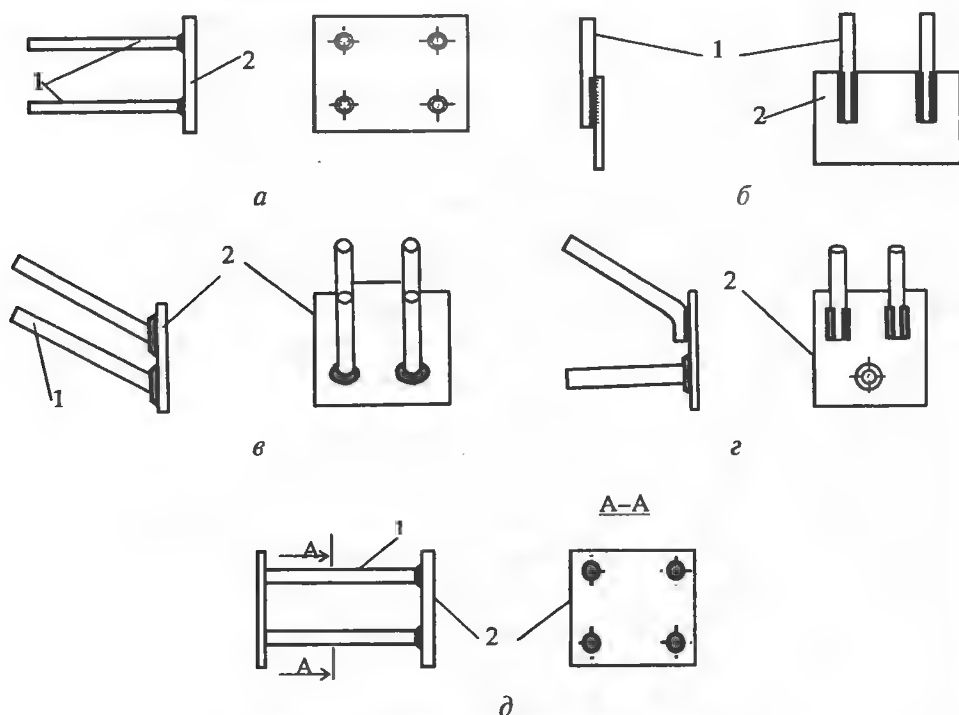


Рис. 4.11. **Основні типи закладних виробів:**
а, б, в, г – закладні вироби відкритого типу (відповідно з перпендикулярним, паралельним, похилим і змішаним розташуванням анкерних стержнів); *д* – закладний виріб закритого типу (з перпендикулярним розташуванням анкерних стержнів);
1 – анкерні стержні; 2 – плоский елемент

Всі види лакофарбових покриттів не витримують тривалого терміну випробувань: в місцях порушення цілісності покриття виникає інтенсивна виразкова корозія сталі. Використання таких матеріалів можливе в тих випадках, коли місця з'єднань конструкцій добре замуровані і закладні деталі не мають контакту з зовнішнім середовищем.

В заводських умовах найчастіше використовують газотермічне покриття, тобто металізацію. *Газотермічне покриття* (Нд металізація) – антикорозійне захисне покриття, що наноситься механізованим способом на поверхню арматурного виробу або закладного елемента шляхом напилювання струменем стисненого повітря шарів розплавленого цинку або алюмінію [34]. Найбільш ефективний метод захисту сталі від корозії – оцинкування. При використанні такого способу антикорозійної обробки місцеві порушення цілісності не викликають виразкову корозію сталі. Цинкові покриття наносять на закладні деталі шляхом металізації, гальванізації чи шляхом гарячого оцинкування [51, 114].

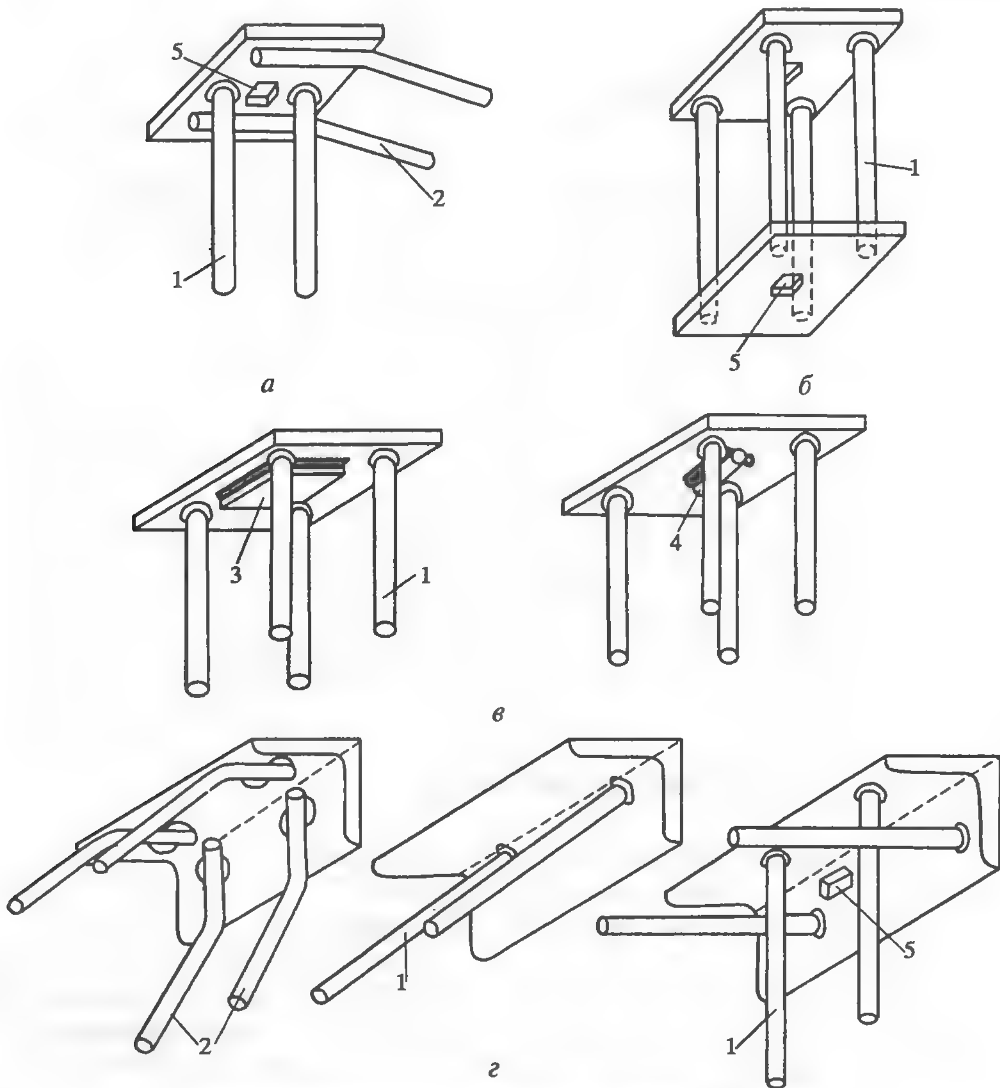


Рис. 4.12. **Приклади конструкцій закладних деталей:**
а – деталь з дотичними і нормальними анкерами; *б* – деталь типа «подвійний столик»; *в* – деталі типу «столик»; *г* – деталі з використанням кутикової сталі;
1 – нормальні анкери (приварені в тавр); 2 – дотичні анкери (приварені внапуск);
3 – упор, що працює в двох напрямах; 4 – упор, що працює в одному напрямі;
5 – отвір для фіксації закладної деталі на формі

Поряд із зварними закладними деталями, все частіше використовують і штамповані.

Штампований закладний елемент (рис. 4.13) – частина залізобетонного виробу, що призначена для з'єднання виробів поміж собою під час

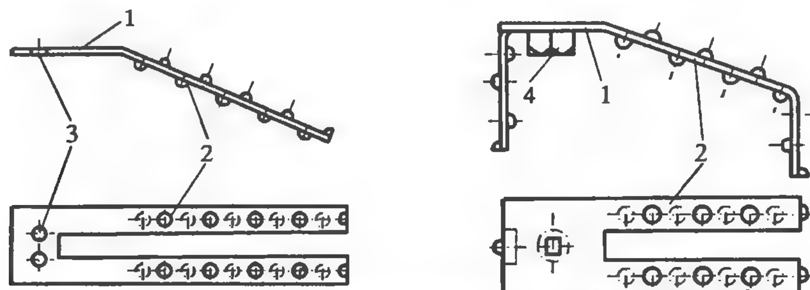


Рис. 4.13. **Штамповані закладні деталі:**
1 – плоска частина; 2 – відігнутий анкер з виштампуваним рельєфом; 3 – отвори; 4 – шайба

монтажу і яка складається із металевої плоскої частини та відігнутого анкера з виштампуваним рельєфом [34].

Штамповані закладні деталі відрізняються від зварних закладних деталей, в основному, тим, що як анкери в них використовують відігнуті від пластин вузькі смуги з рельєфом – видавленими сферичними виступами. Виготовляють штамповані закладні деталі з металевого листового чи штабового прокату завтовшки 5–6 мм методом безвідходного холодного штампування [114].

4.6. Металева фібра (сталева фібра)

Сталева фібра – невеликі відрізки тонких металевих волокон для армування бетону [26]. Механізм сумісної роботи металевої фібри з бетоном ґрунтується на тих же принципах, що і традиційне армування бетонних конструкцій (розділ 1). Бетон, в який введена сталева фібра дістав назву «фібробетон», а армування за рахунок рівномірно розподілених по об'єму бетону волокон має назву дисперсного. Перші систематичні дослідження фібробетону почали проводити в Німеччині з 1970 року в Рурському університеті м. Бохум, в Вищій технічній школі м. Аихен і в університеті м. Карлсруе.

Вироби і конструкції з фібробетону можна виготовити без традиційного армування сітками і каркасами із звичайної арматури, що значно спрощує виробництво таких конструкцій. Сталеву фібру вводять в бетонну суміш в кількості 1–2,5% об'єму бетону (3–9% за масою), що складає 70–200 кг фібри на 1 м^3 бетонної суміші.

Введення фібри в бетон значно покращує ряд властивостей бетону. Сталева фібра збільшує майже всі міцності властивості: приблизно на 20% відносну границю міцності при розтягуванні, на 100% границю

міцності при розтягуванні на згинання, 200% – границю міцності на удар, на 45% теплопровідність. Крім того, кількість усадкових тріщин скорочується приблизно на 30%.

Металева фібра розподіляється по всьому об'єму бетонної матриці, в тих місцях, де утворюються тріщини вона грає зв'язуючу роль і здатна стримувати розкриття тріщин. Тобто, сталеві волокна активно протидіють розширенню тріщин і покращують при цьому довговічність конструкції.

Металеві волокна, які використовують, як арматуру, виготовляють різними способами: механічним, електромеханічним, формуванням з розплаву. Вибір технології виробництва сталевих волокон суттєво залежить від необхідного діаметра.

В залежності від технологічних прийомів отримання, волокна можуть мати поперечний переріз різного вигляду. Зараз найбільшого розповсюдження набули такі чотири способи отримання сталевої фібри: нарізання фібри з дроту; нарізання фібри з листів; розбризкування з розплаву; механічне нарізання фібри фрезою з слябів.

Фібра, виготовлена нарізанням дроту, має круглий поперечний переріз і характеризується різною довжиною окремих волокон. Волокна виготовляють, як із рядової, так і з високоякісної сталі. Дуже часто така фібра має на поверхні мастило, яке необхідне при витягуванні дроту, але це виключає зчеплення металевих волокон з цементним каменем. Міцність на розтягування такої фібри складає 800–1000 МПа.

Фібра, виготовлена механічним нарізанням з штаби (прокатних листів), характеризується квадратним чи прямокутним поперечним перерізом і різною довжиною. Виготовляється з звичайної і високоякісної сталі і може мати на поверхні мастило. Міцність на розтягування цієї фібри складає 500–1000 МПа.

Волокно фібри, виготовлене з розплаву, має серповидний поперечний переріз. Виготовляються волокна безпосередньо з розплаву за допомогою диску, що обертається і розприскує розплав. Окремі приски-волокна моментально тверднуть і відкидаються відцентровою силою. Цей метод слугує для виробництва фібри з високоякісних сталей, міцність фібри з розплаву коливається в межах 400–1000 МПа.

Фібра, виготовлена шляхом механічного нарізання фрезою з слябів чи заготовок, може мати серповидну, трикутну, закручену форму з одною гладкою і двома шорсткими поверхнями і характеризується різною довжиною. Завдяки високим температурам, що з'являються в процесі різання, на поверхні фібри утворюється окислений шар, на що вказує блакитний чи сірий відтінок волокон, який запобігає утворенню іржі в процесі зберігання. Виготовлена таким методом фібра має додаткові антико-

розійні властивості, без будь-яких покриттів, що дозволяє просте та тривале (багатомісячне) зберігання. Міцність на розтягування цієї фібри складає близько 700 МПа.

Найбільше використання отримують нарізані з дроту відрізки сталевих волокон-фібр діаметром 0,3–1,6 мм (рис. 4.14). Об'єми промислового виробництва такого сталевого дроту складають порівняно незначну частину, близько 2,5–3% загального об'єму виробництва арматурної сталі. Досить актуальним є питання розширення виробництва дроту необхідних параметрів для отримання фібрової арматури, що, в свою чергу, сприятиме скороченню витрат традиційних сортаментів арматурної сталі.

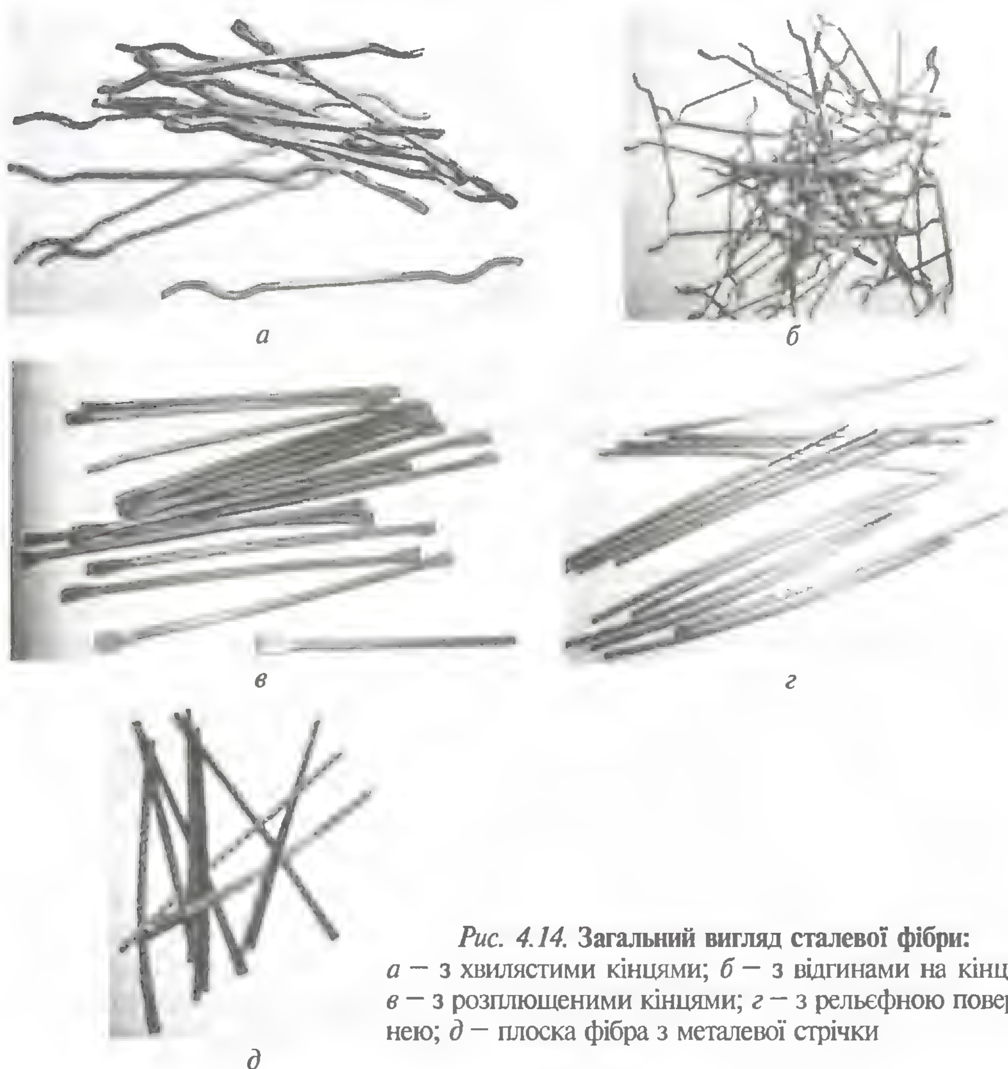


Рис. 4.14. **Загальний вигляд сталевої фібри:**
а — з хвилястими кінцями; *б* — з відгинами на кінцях; *в* — з розплющеними кінцями; *г* — з рельєфною поверхнею; *д* — плоска фібра з металевої стрічки

Особливу цікавість привертає плоска сталева фібра перерізом 0,15–0,4 на 0,25–0,9 мм з металевої фольги, стрічок, штаби, пластин, сплющеного дроту, виробництво і використання якої є перспективним напрямом.

Для отримання дисперсно армованих бетонів важливе значення мають геометричні параметри фібр, які характеризуються відносною довжиною, тобто відношенням довжини до діаметру фібри (l/d). Ці параметри впливають не тільки на ступінь заанкерування фібри в бетоні, але й на технологічні процеси отримання однорідних армованих фіброю бетонних сумішей.

Фіброва арматура може бути 3-х видів, залежно від довжини волокна [50, 89].

При довжині фібр $l \leq 50d$ маса з фібр має сипкість, приготування однорідної суміші здійснюється без будь-яких проблем. Але використання коротких фібр невигідно, через те, що їх довжини не вистачає для заанкерування в бетоні і відповідно міцність сталі в конструкціях використовується не повністю.

При довжині фібр $l = 80...120d$ маса з них набуває зв'язаності. Але пучки фібр, що зчепилися одна з одною, при струшуванні поступово розсипаються. Отримання однорідної бетонної суміші в даному випадку можливе при поступовому введені фібр в суміш.

Довжина фібр $l = 200d$ і *більше* практично унеможливлює отримання бетонної суміші с фібрами шляхом їх перемішування.

Вважається, що найкращім для фібр є співвідношення $l/d = 100$.

При збільшенні діаметра фібри (більше 0,6 мм) різко зменшується ефективність впливу дисперсного армування на міцність бетону.

Для покращення зчеплення між сталевою фібровою арматурою і бетоном рекомендуються дротинки періодичного профілю з рельєфною і деформованою поверхнею, дротинки прямокутного і квадратного перерізів, із змінним по довжині перерізом, що переходять від круглої до прямокутної форми, а також гнуті фібри, фібри з відгинами на кінцях, з різноманітними анкерами і т. д.

В Україні, ще не розроблено державних стандартів на металеву фібру, підприємства виготовляють і використовують фіброву арматуру за технічними умовами [116, 117]. Деякі види металевої фібри, яка використовується в Україні, і її характеристики наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Фіброва арматура в Україні

Ескіз	Сировина, характеристики
1	2
l_x d h l	Хвиляста високоміцна фібра марки «Novocon 60(50)/ 1.0 ht»: – виготовляється з низьковуглецевого холоднотянутого дроту; – d = 1,0 мм, l = 60,00 мм, h = 2,00 мм, l_x = 8,00; – допуски: за довжиною (l) ±0,5 мм, за довжиною хвилі (l_x) ±1,00 мм, за висотою хвилі (h) + 0,3/-0 мм, за діаметром (d) ±0,05 мм; – тимчасовий опір дроту $\sigma_в$ = 1450–1650 МПа або $\sigma_в$ = 1100–1250 МПа, відносне залишкове подовження δ = 1,0–1,5%.
$l_в$ $l_п$ d_f $h_в$ l	Фібра з однобічним періодичним профілем, що являє собою почергові виступи і западини: – виготовляється з сталевого низьковуглецевого дроту загального призначення II групи міцності, термічно необробленого, без покриття; – d_f = 0,5–1,2 мм, h_g = 0,1–0,2d_f; відносна довжини (l/d_f) –50–100; розмір западин – 0,1–0,2d_f; – тимчасовий опір розриванню, $\sigma_в$, не менше 690 МПа; випробування на згинання – на 180°; – відхилення: діаметри 0,5–0,8 – ±0,03 мм, 0,9–1,2 – ±0,5 мм.
b d h l	Фібра з хвилястими кінцями: – виготовляється з дроту холодного волочіння, з вуглецевої сталі звичайної якості марок Ст1, Ст2 і Ст3 всіх ступенів розкислення; – d = 0,95...1,12 мм, l = 50,00...60,00 мм, h = 2,5 мм, b = 12,5 мм; – допуски: за довжиною (l) +2,0/-1,0 мм, за діаметром (d) ±0,02 мм; b ±1,5 мм, h ±1,5 мм; – тимчасовий опір розриванню, $\sigma_в$, не менше 1100 МПа, витримує випробування на вигинання на 180°.

Закінчення таблиці 4.4

1	2
h d b A A l b_1 A-A	Фібра з розплющеними кінцями: – виготовляється з дроту холодного волочіння, з вуглецевої сталі звичайної якості марок Ст1, Ст2 і Ст3 всіх ступенів розкислення; – d = 0,8...1,0 мм, l = 50,00...60,00 мм, h = 1,4...1,8 мм, b = 5 мм, b_1 = 2,50 мм; – допуски: за довжиною (l) ±2,0 мм, за діаметром (d) ±0,05 мм; b ±1,5 мм, b_1 ±1,0 мм, h + 0,2 мм; – тимчасовий опір розриванню, $\sigma_в$, не менше 1100 МПа, витримує випробування на вигинання на 180°.
b a d h l	Фібра з відгинами на кінцях: – виготовляється з дроту холодного волочіння, з вуглецевої сталі звичайної якості марок Ст1, Ст2 і Ст3 всіх ступенів розкислення; – d = 0,8...1,0 мм, l = 50,00...60,00 мм, h = 2,5...3,0 мм, b = 5 мм, кут відгину – α = 45°; – допуски: за довжиною (l) ±2,0 мм, за діаметром (d) – 0,05 мм; b ±1,0 мм, h ±1,0 мм, α ±5°; – тимчасовий опір розриванню, $\sigma_в$, не менше 1100 МПа, витримує випробування на вигинання на 180°.
S d h l	Фібра хвиляста: – виготовляється з дроту холодного волочіння діаметром від 5,5 до 8 мм, з вуглецевої сталі звичайної якості марок Ст1, Ст2 і Ст3 всіх ступенів розкислення; – S = 8,3 мм, d = 0,8...1,0 мм, h не менше 1,0 мм, l = 50 мм; – допуски: S ±1,5 мм, l ±2,0 мм; – тимчасовий опір розриванню, $\sigma_в$, не менше 1100 МПа, витримує випробування на вигинання на 180°.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Дайте визначення арматурного виробу. Назвіть види арматурних виробів.

2. Як поділяють арматурні сітки і каркаси, залежно від способу з'єднання перетинів? В яких випадках використовують зв'язування для отримання арматурних виробів?

3. Розкрийте поняття «арматурна сітка», класифікація і основні вимоги.

4. Назвіть основні параметри гнутих сіток і умови їх застосування.

5. Розкрийте поняття «плоскі арматурні каркаси», класифікація і основні вимоги.

6. Дайте визначення просторового і об'ємного арматурних каркасів.

7. Монтажні (стропувальні) петлі: конструкція і вимоги.

8. Зварні закладні деталі: конструкція, види. Які особливості, пов'язані з умовами експлуатації, необхідно враховувати в закладних деталях?

9. Розкрийте поняття «зварний закладний елемент» і «штампований закладний елемент». Назвіть їх відмінності.

10. Дайте визначення металевої фібри. Назвіть види фібрової арматури залежно від довжини волокон.

РОЗДІЛ 5

АРМАТУРНІ ЕЛЕМЕНТИ ДЛЯ АРМУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬО-НАПРУЖЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ

5.1. Види напружуваної арматури

Арматурні елементи для армування напружених конструкцій складаються з:

– власне арматури;

– пристроїв для її закріплення після натягування;

– пристроїв, що забезпечують проектне положення окремих стержнів і дротин у конструкції.

Напружувана арматура – стержні розмірної довжини із високоміцної гарячекатаної, термічно та термомеханічно зміцненої або зміцненої витягуванням арматурної сталі, а також високоміцний дріт і арматурні канати з кінцевими анкерами [34].

Арматурні елементи для попереднього напруження виготовляють у вигляді гнучких стержнів, що мають спеціальні анкерні пристрої, які забезпечують передавання попереднього напруження на бетон. Ці види елементів (рис. 5.1) можуть бути виконані з стержньової арматури, дроту, жмутів, пакетів, сталок та канатів і потребують особливо точного забезпечення параметрів, які впливають на отримання заданого напруження (відстань між анкерами, міцність з'єднання анкерів з арматурою, жорсткість анкерів, шайб тощо).

Жмути, пакети, сталки і канати – виготовляють із високоміцного дроту.

Жмут напружуваного дроту – арматурний виріб, що складається з високоміцних дротин, які симетрично розташовані по зовнішньому контуру спірального каркаса жмута і закріплені в'язальним дротом у місцях розміщення спіралей (рис 5.1 *в*). На кінцях дротин жмута висаджуються головки, які спираються на інвентарні анкерні колодки, або кінці дротин запресовуються у гільзостержньових кінцевих анкерах [34]. Жмути виготовляють завдовжки 6, 12, 24 м або на довжину стенду.

Сталка – кілька складених разом дротин (2, 3 і 7) з їх наступним суканням. Скручування дроту створює рельєфну поверхню, яка дає можливість підвищити зчеплення арматури з бетоном. Для того щоб сталки

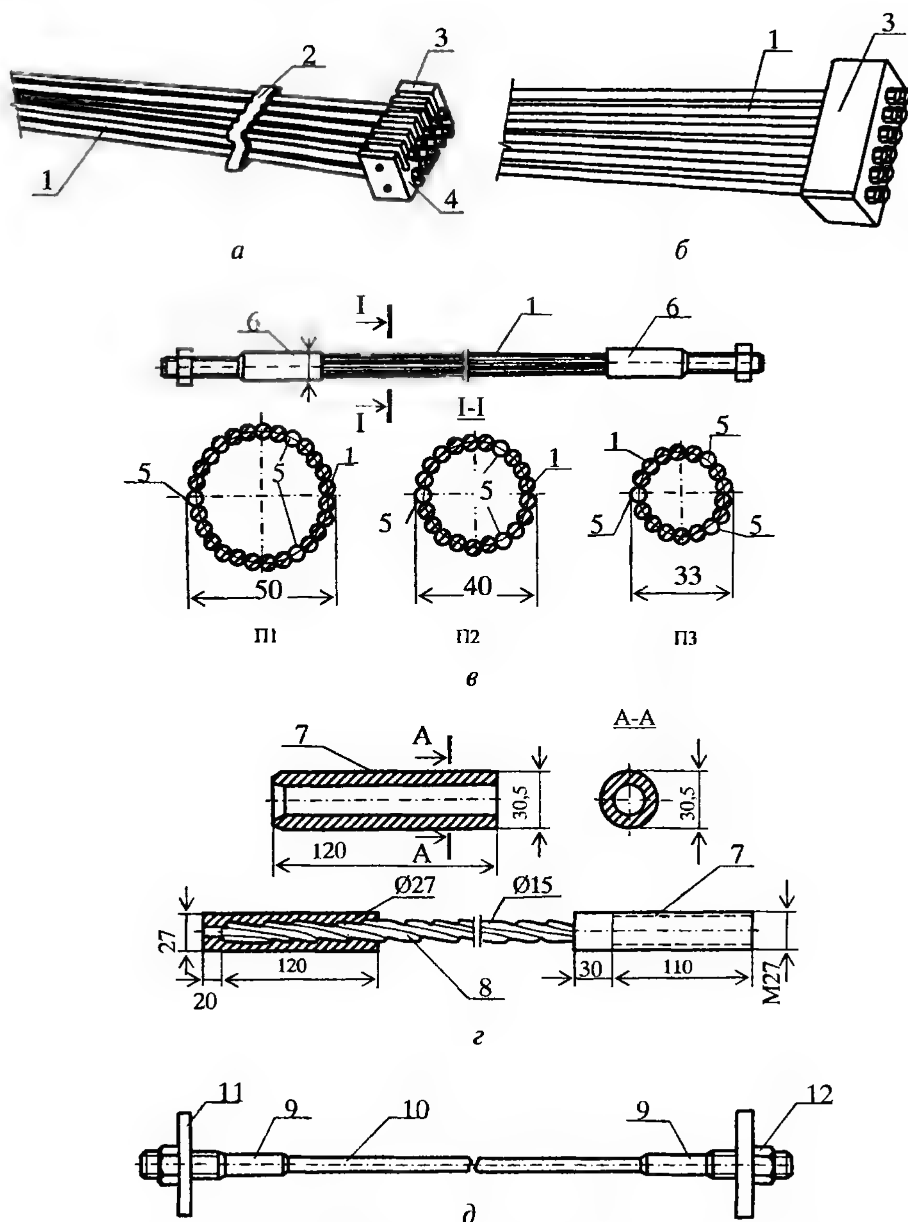


Рис. 5.1. **Напружувані арматурні елементи:**

а – уніфікований напружуваний елемент (УНАЕ) – пакет з прорізними колодками; *б* – теж, з дірчастими колодками; *в* – пучок з гільзово-стержньовими анкерами; *г* – канат К-7 з гільзовими анкерами; *д* – арматурний елемент з стержньової арматури; 1 – напружуваний високоміцний дріт; 2 – фіксатор; 3 – анкерна колодка; 4 – висаджені головки; 5 – коротуни; 6 – анкер; 7 – гільза; 8 – канат; 9 – коротун з різьбовою нарізкою; 10 – стержень; 11 – шайба; 12 – гайка

нерозкручувались, їх рихтують або піддають низькотемпературному відпуску. Готові сталки скручують у мотки і потім використовують для напружуваних елементів заданої довжини [85].

Пакет напружуваної арматури – арматурний виріб для групового натягування, що складається з окремих високоміцних сталевих дротин, канатів або жмутів, кінці яких закріплені у групових інвентарних анкерних пристроях [34] .

Застосування того чи іншого арматурного елемента для обтискання залізобетонного виробу зумовлюється конструктивними і технологічними факторами [85].

До ***конструктивних*** факторів слід віднести такі:

– принцип дії напружувано-армованої конструкції;

– схема розміщення арматурних елементів у виробі:

– переріз виробу;

– несуча здатність;

– тріщиностійкість і інші.

Усі ці фактори враховують при конструюванні виробу і прийняте рішення армування зображують на кресленні.

До ***технологічних*** факторів належать:

– способи попереднього напруження арматурних елементів;

– методи виготовлення залізобетонних конструкцій.

Від технологічних факторів часто залежить вибір виду і марки арматурної сталі, конструкція анкерних пристроїв, вирішення вузлів з'єднання арматури в довгомірних елементах та інше.

При виборі арматурної сталі для попереднього напруження враховують переваги і недоліки різних видів арматури.

Перевагами високоміцної напружуваної стержньової арматури, в порівнянні з дротяною і канатами, є [52]:

– прямолінійність;

– значне агрегатне зусилля;

– стійкість проти корозії;

– технологічність виробництва і використання;

– відносно низька ціна.

До недоліків стержньової напружуваної арматури відносять:

– поставку в обмежених довжинах і необхідність стикування;

– більш низькі, в порівнянні з холоднотягнутим дротом і канатами, механічні властивості.

Переваги і недоліки високоміцного дроту і арматурних канатів розглянуті в розділі 3.

Для виготовлення напружуваної арматури попередньо напружених залізобетонних конструкцій використовують такі види арматурної сталі:

– стержньову гарячекатану класів А-IV(А600) і А-V(А800);

– стержньову термічно зміцненену класів Ат-V(Ат800), Ат-VI(Ат1000) і Ат-VII(Ат1200);

– вуглецевий холоднотягнутий дріт класів Вр-II і В-II;

– арматурні канати класів К-7 і К-19.

Для напружуваної арматури попередньо напружених залізобетонних конструкцій допускається також використовувати стержньову арматуру періодичного профілю, зміцнену витягуванням, класу А-IIIв(А550в) і стержньову термічно зміцнену класу Ат-IV(Ат600).

Довжину арматурних елементів, залежно від способу виробництва, беруть на один чи кілька виробів, що одночасно виготовляють в одній формі або на одній стендовій лінії.

Попереднє напруження можна здійснювати механічним, електротермічним та електротермомеханічним способами. Механічний спосіб натягування рекомендується для арматури у вигляді високоміцного дроту, сталок, канатів і стержнів; електротермічний – переважно для стержньової арматури; електротермомеханічний – для арматури з високоміцного дроту або сталок.

Високоміцну стержньову гарячекатану і термічнозмінену сталь класів А-IIIв(А550в), А-IV(А600), А-V(А800), Ат-IV(Ат600), Ат-V(Ат800) діаметром 8–22 мм рекомендується натягувати електротермічним і механічним способом, а діаметром 25–40 мм – механічним. Натягування високоміцного арматурного дроту класів Вр-II і В-II, арматурних канатів класів К-7 і К-19, стержньової термічно і термомеханічно зміцненої арматури класів Ат-VI(Ат1000) і Ат-VII(Ат1200), стержньової гарячекатаної арматури класу А-VI(А1000) рекомендується здійснювати механічним способом. Стержньову гарячекатану арматуру класу А-VI(А1000), термічно і термомеханічно зміцнену сталь класів Ат-VI(Ат1000) і Ат-VII(Ат1200), дріт класу Вр-II допускається натягувати електротермічним способом при попередньому напруженні відповідно не більше 700 і 800 МПа.

Як напружувану арматуру при безперервному армуванні залізобетонних конструкцій, в основному, використовують арматурні канати К-7 діаметром 6 і 9 мм чи дріт з вуглецевої сталі періодичного профілю Вр-II діаметром 4 і 5 мм.

При заготовленні арматурних елементів залишки від стержнів, бухт дроту чи канатів, довжина яких менше необхідної довжини арматурних заготовок, рекомендується зрощувати між собою для подальшого використання.

Стержньову гарячекатану арматурну сталь класів А-IV(А600) і А-V(А800) можна стикувати зварюванням. Стержні термічно зміцненої арматури класів Ат-VI(Ат1000) і Ат-VII(Ат1200) не допускається з'єднувати зварюванням. Термічно зміцнену арматуру можна стикувати за допомогою обойм, що обтискають, і використовувати так, як і стержні мірної довжини.

Зрощування (з'єднання) високоміцного дроту виконують шляхом спірального намотування в'язального дроту діаметром 1–1,5 мм на кінці

арматури, яка стикується, що складені внапусток з напущенням на довжину 60 діаметрів дроту чи шляхом скручування.

Основними недоліками способів зрощування внапусток є несоосність стикованого дроту і нестабільність міцності з'єднання. Більш індустріальним і надійним способом стикування дроту і термозміцненої катанки, що дозволяє отримати соосний рівноміцний стик, є з'єднання дроту за допомогою спеціальних муфт з пробками (рис. 5.2 *б*).

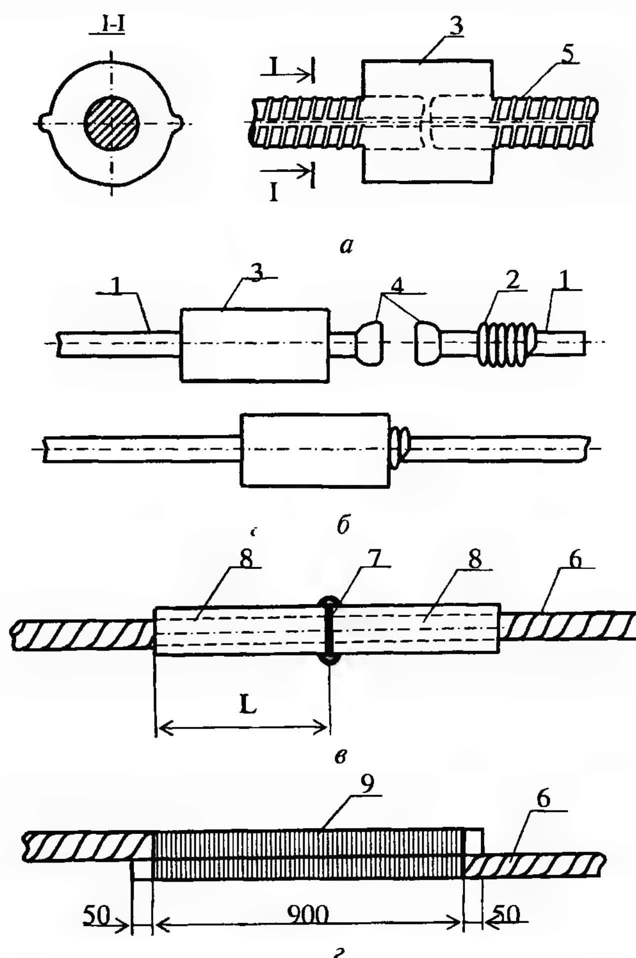


Рис. 5.2. **Види стиків напружуваної арматури:**
а – соосний рівноміцний високоміцного дроту (загальний вид і деталі); *б* – стик незварювальних стержнів опресованою муфтою; *в* – стик канатів (зварювання опресованих гільз); *г* – з'єднання канатів внапусток з обмоткою в'язальним дротом;
L – довжина закладання канатів в гільзу;
1 – дріт; 2 – пробка; 3 – муфта; 4 – головки; 5 – стержень, 6 – канат; 7 – шов стикового з'єднання; 8 – гільзи; 9 – обмотка дротом

Стикування канатів здійснюється за допомогою затискачів НДІЗБ зі з'єднувальною рамкою, двобічного клинового затискача, внапусток з обмоткою дротом діаметром 1–1,5 мм і за допомогою опресованих гільз (рис. 5.2 *в, г*).

Стики за допомогою опресованих гільз можуть виконуватись з використанням не рознімної гільзи чи контактним зварюванням роздільних гільз (рис. 5.2 *в*). Стикування стержнів з незварюваних сталей (рис. 5.2 *а*) виконують опресованою муфтою [51].

Поверхня арматурних сталей, які використовують для виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій, повинна бути чистою, без відшарування окалини і іржі, олійних і бітумних плям і при заготовленні, транспортуванні і натягуванні необхідно запобігати забруднення, корозії, механічних пошкоджень, а також іскор і підпалів електродугою.

5.2. Напружувана стержньова арматурна сталь закордонних виробників

Європейським стандартом EN 10138 [39, 135] регламентуються технічні вимоги до стержньової арматури двох класів 835/1030 з умовною границею текучості $\sigma_{0,1} \geq 835$ МПа і тимчасовим опором $\sigma_в \geq 1030$ МПа діаметром 15–40 мм (15, 17, 20, 23, 26, 32 і 40 мм) і класу 1080/1230 з $\sigma_{0,1} \geq 1080$ МПа і $\sigma_в \geq 1230$ МПа. В стандарті ISO 6935-5 [107] регламентуються вимоги до стержнів діаметром 15–40 мм 4-х класів 835/1030, 930/1080, 930/1180 і 1080/1230 відповідно з бракувальною границею текучості $\sigma_{0,1}$ рівною 835 МПа, 930 МПа і 1080 МПа.

Основним видом напружуваної пруткової арматури в Західній Європі, США, Канаді і Бразилії є стержні діаметром 26–40 мм класу 835/1030 і діаметром 26–36 мм класу 1080/1230. Це пояснюється тим, що в цих країнах високоміцна пруткова арматура використовується при натягуванні на бетон і головною метою її використання є необхідність отримання якомога більшого агрегатного зусилля напруження при високому ступені надійності і довговічності, що суттєво перевищують можливість високоміцного дроту і арматурних канатів.

Така стержньова арматура виготовляється з гарячекатаної сталі, подібної до вітчизняної сталі класів А600 і А800, шляхом зміцнення витягуванням з тривалим низькотемпературним відпуском при температурі близько 400°С, у вигляді стержнів з гладкою поверхнею, звичайного періодичного профілю чи з гвинтовим профілем.

Стандарти цих країн включають також вимоги до релаксації, витривалості, корозійної стійкості, якості поверхні, умов пакування і т. д. Зокрема, в залежності від класу релаксаційної стійкості величина втрат напруження від релаксації при початковому напружені $0{,}7\sigma_в$ не повинна перевищувати 2,5% чи 4% [135].

Таблиця 5.1

Характеристика закордонної напружуваної арматурної сталі

Країна виробник, № стандарту	Метод виробництва	Діаметр, мм	Хімічний склад в %						Нормовані механічні властивості			
			C	Si	Mn	Cr	S	P	$\sigma_{0,2}$ ($\sigma_{0,2}$)	$\sigma_в$	δ_8 (δ_5)	σ_{rel} при τ = 1000 год і $\sigma_{con} = 0,7\sigma_в$, %
							не більше		МПа		%	
									не менше			не більше
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Японія JISG 3109-88	загартована і відпущена на індукційним прогріванням	13–32	0,45–0,51	0,45–0,51	0,45–0,51	0,40–0,60	0,03	0,035	785 785 930 930 1080 1080	930 1030 1080 1180 1230 1320	5	1,5
Японія JISG 3109-88	загартована і відпущена	7,4–13	0,30–0,35	0,26–1,60	0,70–0,71	– –	0,035	0,035	1270	1470	5	1,5
Японія JISG 3109-88	гарячекатана і зміцнена витягуванням з НТВ	17–36	0,65–0,8	0,15–1,0	1,0–1,5	до 1,0	0,03	0,035	930 1080	1080 1230	5 5	1,5 1,5
ФРН	термомеханічно зміцнена	12–22	0,65–0,80	0,15–0,45	0,5–1,2	– –	0,035	0,035	900	1100	7	4
ФРН, Бразилія EN10138	гарячекатана і зміцнена витягуванням з НТВ	26–40	0,65–0,80	0,65–0,85	1,10–1,70	– –	0,035	0,035	835 1080	1030 1230	7 6	2 2
Канада CSA 6279 M1982	гарячекатана і зміцнена витягуванням з НТВ	19–36	1) –	–"– –"–	–"– –"–	–"– –"–	–	–	875 935	1035 1100	7(4)[2] 7(4)[2]	2,5 2,5
США ANSI-ASTM A722-90	гарячекатана і зміцнена витягуванням з НТВ	15–36	1) –	–"– –"–	–"– –"–	–"– –"–	0,04 –"–	0,05 0,04	830 880	1035 1035	7(4)[2] 7(4)[2]	–"– –"–
Великобританія BS4486	гарячекатана і зміцнена витягуванням з НТВ	26,5; 32, 36, 40	1) –	– –	– –	– –	0,045	0,04	835	1030	6	2,5

Примітки. 1. Хімічний склад не регламентується.
2. δ_{20}.

Обсяги виробництва за кордоном високоміцної стержньової арматури відносно невеликі і не перевищують 20–30 тис.тонн на рік в усіх країнах разом узятих.

В Японії поряд з високоміцною стержньовою арматурою великих діаметрів випускають в великій кількості (близько 100 тис.тонн на рік) термічно зміцнену арматуру малих діаметрів 7,4–13,0 мм класів 1270/1470 з границею текучості $\sigma_{0,2} \geq 1270$ МПа і тимчасовим опором $\sigma_в \geq 1470$ МПа (табл. 5.1).

Таку арматуру випускали і в Німеччині, але від її виробництва відмовились через випадки крихких корозійних руйнувань.

Хімічний склад високоміцної пруткової арматури суттєво відрізняється в залежності від технології виробництва і зміцнення сталі. Стержні великих діаметрів виготовляють зі сталі з вмістом вуглецю від 0,65% до 0,8%, легованої марганцем і кремнієм. Термічно зміцнену арматуру в Японії виготовляють з середньовуглецевої кремніймарганцевої сталі з мікролегуванням [134]. Хімічний склад японської термічно зміцненої арматури принципово не відрізняється від хімічного складу сталі 20ГС2 чи 30ГС2 [40, 44, 134].

5.3. Пристрої для закріплення напружуваної арматури

Пристрої для закріплення напруженої арматури умовно можна поділити на затискачі, тимчасові і постійні анкери.

Використання того чи іншого типу затискача чи анкера залежить від прийнятої технології виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій, виду арматурного елемента, механізму для натягування і гідродомкрата.

В залежності від кількості стержнів, дротин чи канатів, які одночасно закріплюються, затискачі і анкери поділяють на індивідуальні і групові.

Тимчасові інвентарні затискачі. *Інвентарний затискач* – напівавтоматичний анкерний пристрій, призначений для захвату арматури під час натягування та закріплення її на упорах стенду або форми [34].

Інвентарні затискачі є частиною технологічного обладнання, багато разів використовуються і слугують для тимчасового закріплення напружуваної арматури на упори форм чи стендів.

Затискачі застосовують при закріпленні напруженої стержньової арматури, високоміцного дроту, виробів з нього та дротяних жмутів і пакетів, здебільшого, при механічному та електротермомеханічному способах натягування арматури.

За способом закріплення арматури затискачі поділяють на клинові і хвильові.

В клинових затискачах закріплення арматури забезпечується за допомогою клина, встановленого в клиновидний отвір затискної (анкерної) колодки. При цьому використовують плоскі, конічні і пірамідальні клини з симетричним чи однобічним закріпленням арматури між зовнішньою поверхнею клину і внутрішньою поверхнею отвору колодки (рис. 5.3). До клиновидних затискачів відносяться також інвентарні цангові затискачі циліндричного типу. При натягуванні арматури, коли збільшуються зусилля в арматурному елементі, клин або клини ще більше затягуються в конічні чи клинові отвори колодки і сприяють більшому защемленню й надійному закріпленню арматури (рис. 5.4).

В хвильових затискних пристроях (рис. 5.4), закріплення дроту або канатів здійснюється шляхом хвилеподібного огинання цією арматурою виступів закладних пластин чи системи шарнірів, об'єднаних обоймою в один затискач і закріплених болтами-фіксаторами [51].

Тимчасові анкери. Тимчасові анкери утворюють на кінцях напружуваних стержнів чи дротин для одноразового закріплення їх на упори форм чи стендів до набуття бетоном передавальної міцності.

Анкерна головка – потовщення на сталевому арматурному стержні або дроті, яке утворюється в ході холодної, напівгарячої або гарячої висадки [34]. Кінцевий анкер – пристрій у вигляді привареного коротуна із арматурного стержня або відрізка стержня з нарізкою, висадженої головки,

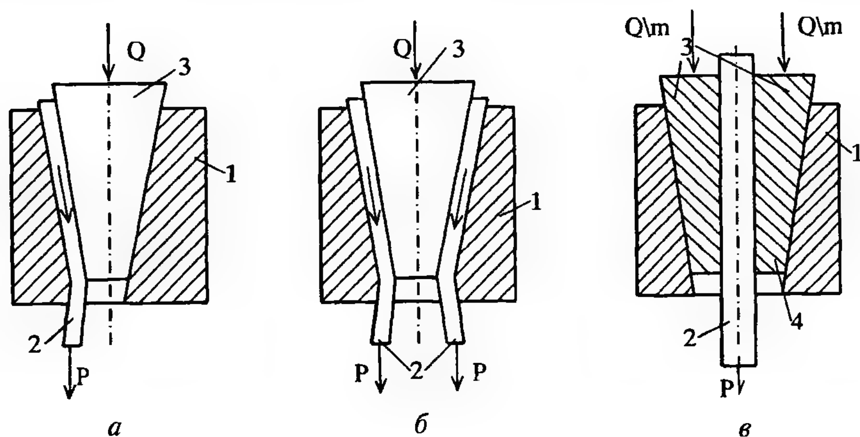


Рис. 5.3. **Схема роботи клинових затискачів:**
а – одиночний стержень з запресованим клином; *б* – група стержнів з запресованим клином; *в* – одиночний стержень з ковзними втулками;
1 – корпус; 2 – арматура; 3 – клин; 4 – клинові втулки;
P – зусилля напруження; Q – сила, що діє на клин

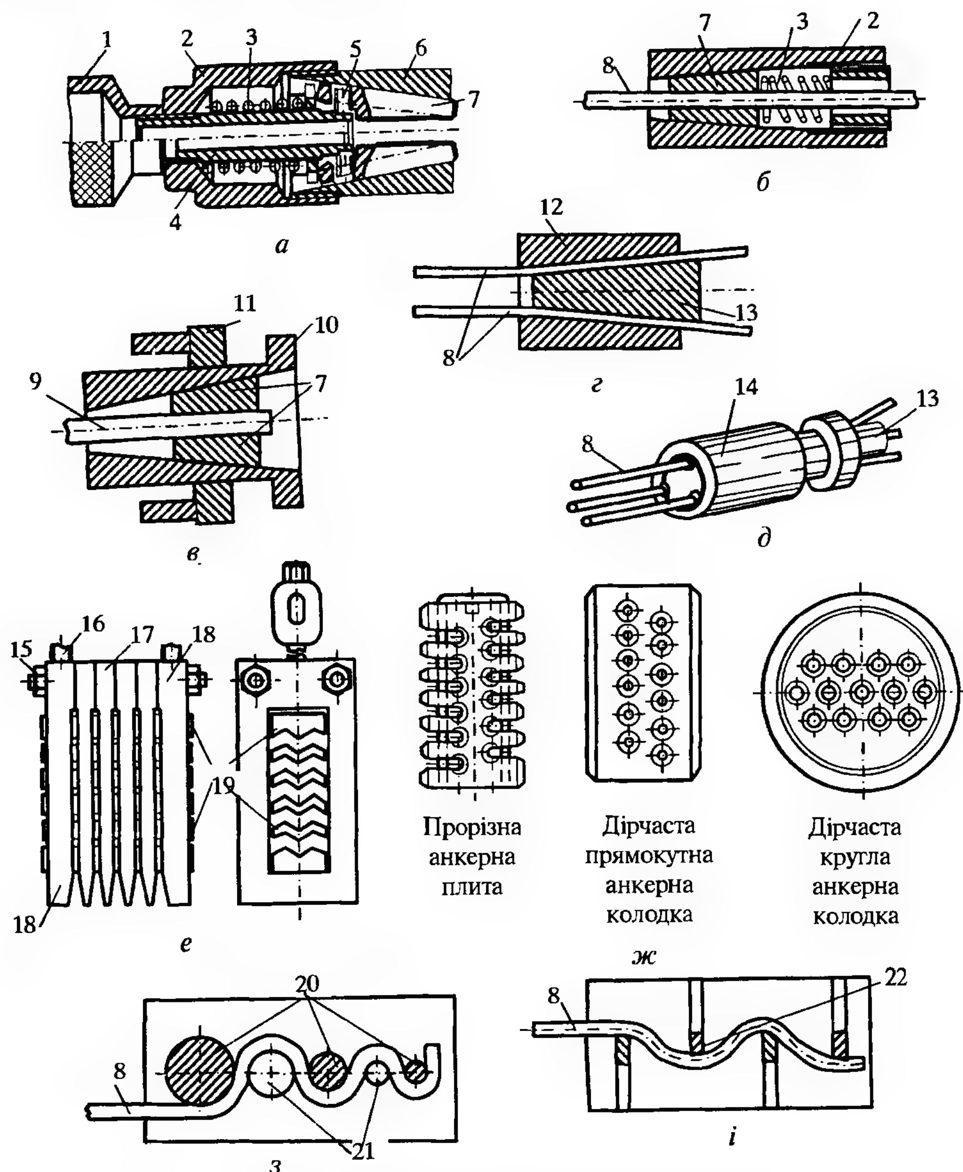


Рис. 5.4. **Конструкція інвентарних затискачів:**

а – напівавтоматичний затискач НДІЗБ; *б* – ЦНДІЛ-3; *в* – цанговий одиночний; *г* – клиновий груповий (тресту Харківзалізобетон); *д* – клиновий с запресуванням; *е* – хвильовий груповий затискач; *ж* – затискачі УНАЕ (уніфікованих напружуваних арматурних елементів); *з* – щелепний груповий; *і* – гребінчастий груповий

1 – знімна рукоятка; 2 – корпус; 3 – пружина; 4 – штовхач; 5 – ріжки штовхача; 6 – хвостовик; 7 – цанги; 8 – дріт; 9 – стержень; 10 – патрон; 11 – гайка; 12 – втулка; 13 – клин;14 – обойма; 15 – стяжний болт; 16 – стопорний болт; 17 – внутрішні обойми; 18 – зовнішні обойми; 19 – затискні хвильові пластини; 20 – нерухомі стержні; 21 – рухомі стержні; 22 – кулачки

опресованої обойми або гільзи, гвинтової муфти або гайки, інвентарного затискача або захвата, який тимчасово закріплює арматуру, що напружується, на упорах форми або стенду [34].

Для закріплення стержньової напружуваної арматури використовують такі види тимчасових кінцевих анкерів [114]:

– сталеві опресовані в холодному стані шайби для арматури всіх класів діаметром до 22 мм включно (рис. 5.5, *а*);

– висаджені головки, що утворюють обтисканням кінців стержнів, розігрітих електричним струмом, для арматури з сталі класів А-IIIв(А550в), А-IV(А600), А-V(А800), Ат-V(Ат800) і Ат-VI(Ат1000) діаметром до 40 мм включно (рис. 5.5, *б*), притримуючись встановлених режимів;

– приварені коротуни (рис. 5.5, *в*) та петлі (рис. 5.5, *г*) для арматури з сталі класів А-IIIв(А550в), А-IV(А600), А-V(А800) діаметром до 40 мм включно;

– опресовані спіральні анкери з гарячекатаної арматури з сталі класу А-I для арматури з сталі класів А-V(А800), Ат-V(Ат800), Ат-VI(Ат1000) і Ат-VII(Ат1200) діаметром 8–14 мм (рис. 5.5, *г*).

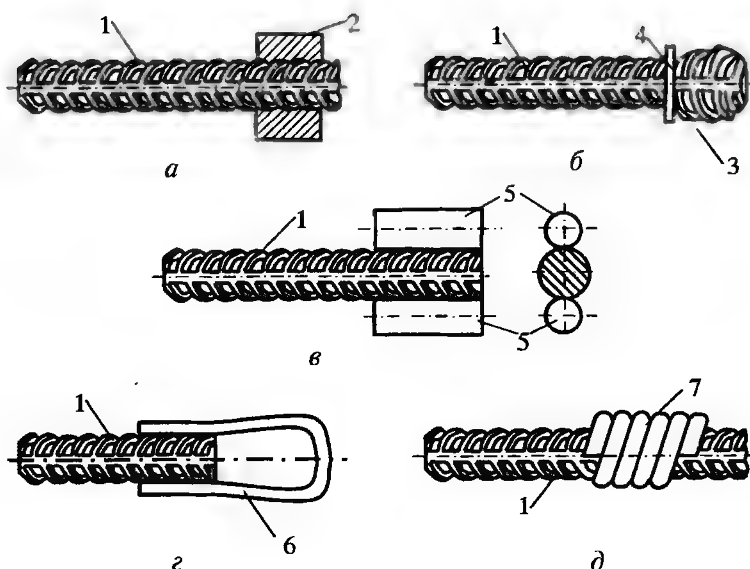


Рис. 5.5. **Анкери стержньової арматури одноразового використання:**
а – опресована шайба; *б* – висаджена головка; *в* – приварені коротуни; *г* – приварена петля; *д* – спіральний анкер;
1 – стержень; 2 – опресована шайба; 3 – висаджена головка; 4 – опорна шайба; 5 – коротуни; 6 – петля; 7 – опресований спіральний анкер

Висаджені головки рекомендується використовувати з опорними шайбами чи втулками з конусними отворами для рівномірного передавання зусилля від натягнутого стержня на упори форм чи піддонів.

Шайби для тимчасових кінцевих анкерів штампують з листової чи штабової сталі Ст1, Ст2 і Ст3 чи виготовляють з круглої чи шестигранної сталі цих же марок. Шайби для довготермінового використання виготовляють із сталі марки 40Х. Розміри шайб наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Характеристика шайб для опресування

Розміри в мм

Діаметр			Висота шайби							
арматури	шайби		до опресування				після опресування			
	внутрішній	зовнішній	клас арматури							
			Ат-IV (Ат600), А-IV (А600)	Ат-V (Ат800), А-V (А800)	Ат-VI (Ат1000)	Ат-VII (Ат1200)	Ат-IV (Ат600), А-IV (А600)	Ат-V (Ат800), А-V (А800)	Ат-VI (Ат1000)	Ат-VII (Ат1200)
10	13	30	8	10	11	12	11	13	14	16
12	15	32	8	11	14	17	13	15	18	21
14	17	32	10	13	17	21	14	17	21	25
16	20	36	11	15	19	23	16	19	23	27
18	22	36	13	17	21	25	17	21	25	29
20	24	40	14	19	23	27	19	23	28	31
22	26	42	16	21	25	29	30	26	30	33

Опорна поверхня шайб готових тимчасових кінцевих анкерів у вигляді висаджених головок повинна бути перпендикулярна осі стержня, а опорна поверхня висадженої головки – симетрична осі стержня. Ширина виступу повинна бути рівною $0,4d \pm 2$ мм, де d – діаметр арматури.

Вибір анкерів у вигляді приварених коротунів і петель потребує розрахунків для визначення діаметрів коротунів, довжини зварного шва і перерізу петлі.

Діаметр коротунів, $d_к$, знаходять за формулою (5.1):

$$d_к = 0{,}63 d_н \sqrt{\frac{0{,}9 R_н^н}{R_к}},\ мм, \qquad (5.1)$$

де $d_н$ – номінальний діаметр арматурного стержня, мм; $R_н^н$ – границя текучості арматурної сталі, МПа; $R_к$ – розрахунковий опір матеріалу коротуна, МПа.

Довжину, l, зварного шва і довжину коротуна визначають за формулами (5.2)–(5.3):

– для привареного коротуна

$$l_ш = \frac{0,91P}{R_к a} = l_к,\ мм; \tag{5.2}$$

– для привареної петлі

$$l_ш = \frac{0,46P}{R'_п a} = l_к,\ мм; \tag{5.3}$$

де P – задане зусилля натягування арматури, Н; $R'_п$ – розрахунковий опір матеріалу петлі, МПа (Н/мм^2); a – висота зварного шва, мм.

Площа перерізу петлі визначають із рівняння (5.4):

$$S \geq \frac{P}{R'_п \alpha},\ мм^2, \tag{5.4}$$

де α – коефіцієнт неоднорідності матеріалу.

Арматуру з високоміцного дроту закріплюють за допомогою висаджених в холодному (рис. 5.6, *а*) чи гарячому стані анкерних головок, що опираються на інвентарні калені втулки чи спеціальні гребінчасті пластини. Діаметр висадженої головки приймається 1,6–1,85 діаметра дроту, а кут нахилу опорної поверхні головки до площини упору 25–35° [95, 114]. Кінцеві головки можна утворювати з попереднім підігріванням і оплавленням без контролю температури і часу, але при цьому міцність дроту в зоні анкера знижується на 10–15%. Жмути дроту закріплюють за допомогою гнутих петель (рис. 5.6, *б*) та гільзових запресованих анкерів (рис. 5.6, *в*).

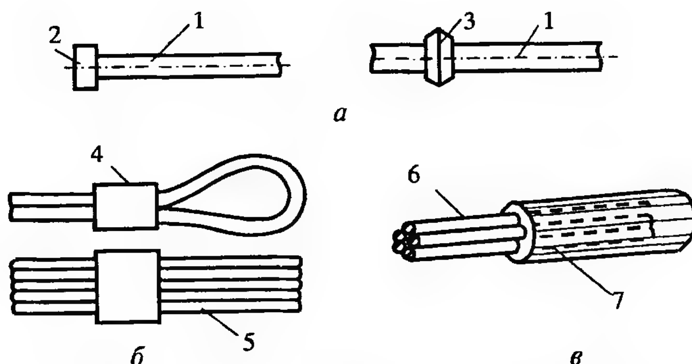


Рис. 5.6. **Анкери одноразового використання для високоміцного дроту:**
а – анкерні головки холодного обтиснення; *б* – гнута петля; *в* – гільзовий анкер;
1 – дріт; 2 – кінцева головка; 3 – проміжна головка; 4 – обойма; 5 – пакет з певної кількості дротин; 6 – пучок дротин (струна); 7 – запресована гільза

Як анкерні пристрої одноразового використання для канатів можуть використовуватись опресовані сталеві гільзи. Для рівномірного натягування груп канатів з опресованими гільзами відстань між внутрішніми торцями гільз повинна відрізнятись від проектної не більше ніж на ±2 мм при довжині арматурного елемента 10 м, а дріт з висадженими головками – на ±1 мм при відстані між опорними частинами головок 6 м.

Міцність тимчасових кінцевих анкерів на відривання чи висмикування повинна бути для всіх класів дротяної, прядкової і канатної арматури не менше $0{,}9\sigma_в$ вихідної сталі ($\sigma_в$ – тимчасовий опір розриванню).

Постійні анкери. Постійні анкери є частиною конструкції і передають зусилля натягання від напруженої арматури до затверділого бетону.

Натягування арматури на затверділий бетон найбільш доцільно при будівництві з монолітного бетону унікальних будівель і споруд, прогонів мостів, великопрогонних балок і плит перекриття, контурних елементів оболонок і куполів, резервуарів, висотних споруд.

Для пропуску арматури, що натягується на бетон, в ньому утворюють спеціальні канали. Після досягнення бетоном проектної міцності крізь канали протягують арматуру у вигляді пучків високоміцного дроту чи арматурних канатів, інколи окремих стержнів.

Попереднє напруження арматури на затверділий бетон, в більшості випадків, здійснюється механічним способом.

Одинарні стержні періодичного профілю після натягування закріплюють на бетон різьбовими анкерами (рис. 5.7 *а*). Клиновим анкером можна закріпити пучок з 12, 18 і 24 дротини після натягування його на бетон (рис. 5.7 *б*). Гільзово-стержневі анкери закріплюють на бетон пучки з 8–24 дротин і канати (рис. 5.7 *в*). Для закріплення на затверділий бетон канатів і багаторядних концентричних пучків застосовують гільзовий анкер (рис. 5.7 *г*).

Арматурний елемент повинен мати в комплекті опірну плиту у вигляді шайби або закладної деталі.

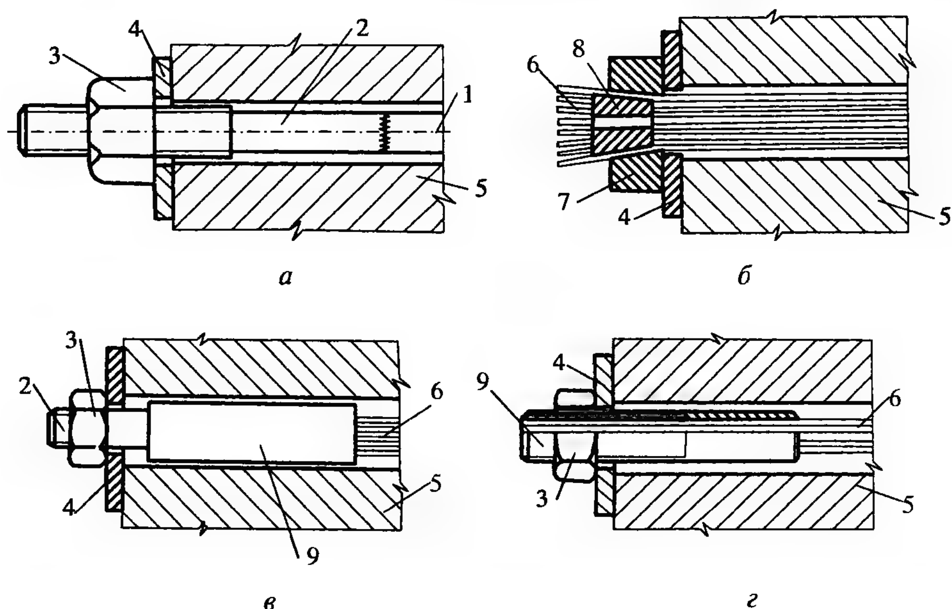


Рис. 5.7. **Постійні анкери:**
а – різьбовий (стержньовий); *б* – клиновий; *в* – гільзово-стержневий; *г* – гільзовий; 1 – арматурний стержень; 2 – кінцевий елемент з різьбою; 3 – гайка; 4 – розподільча шайба; 5 – бетон конструкції; 6 – дріт; 7 – анкерна колодка; 8 – конусна пробка; 9 – гільза

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Які види арматурних виробів відносяться до напружуваних? Які фактори впливають на застосування того чи іншого арматурного елемента для обтиснення залізобетонного виробу?

2. Назвіть переваги та недоліки високоміцної напружуваної стержньової арматури?

3. Назвіть способи зрощування залишків від стержнів, бухт дроту і канатів, довжина яких менше необхідної довжини, при використані їх для напружуваних елементів.

4. Назвіть види тимчасових кінцевих анкерів одноразового використання для стержньової арматури, високоміцного дроту і канатів.

5. Розкрийте поняття «інвентарні затискачі». На які групи поділяють інвентарні затискачі в залежності від способу закріплення арматури? Охарактеризуйте принцип роботи затискачів кожної групи.

6. Назвіть види постійних анкерів для стержньової арматури, високоміцного дроту, канатів та особливості їх застосування.

РОЗДІЛ 6

УМОВИ ЗАМІНЕННЯ АРМАТУРНИХ СТАЛЕЙ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ АРМАТУРНИХ ВИРОБІВ

6.1. Загальні вимоги

При тимчасовій відсутності на підприємствах збірного залізобетону і на будівельних майданчиках арматурних сталей відповідних класів і діаметрів, передбачених робочими кресленнями для виготовлення залізобетонних виробів, для скорочення простоїв робітників допускається замінення арматурних сталей у відповідності з вказівками [92]. Виконується замінення рішеннями інженерних служб підприємств з врахуванням наявного на підприємстві асортименту арматурної сталі за класами і діаметрами. Замінення повинні проводитися при умові попереднього узгодження з проектною організацією.

В основі замінення лежить принцип: несуча спроможність арматурних виробів після замінення повинна бути більшою чи рівною проектній, тобто повинна виконуватись умова (6.1):

$$R_S \cdot \Sigma S_q \leq R'_S \cdot \Sigma S_n, \tag{6.1}$$

де R_S, R'_S, – розрахункові опори розтягнення арматури для граничного стану першої групи, відповідно для двох варіантів армування: що приймається на час дефіциту певного виду арматурної сталі і передбаченого проектною документацією; ΣS_q, ΣS_n – площі поперечного перерізу ненапружуваної арматури відповідно для двох варіантів армування: що приймається при тимчасовому заміненні і передбаченого проектною документацією.

Коли клас арматурної сталі не змінюється, то при зміненні сортаменту підбирають арматуру за площею поперечного перерізу ближче до діаметру замінюваних стержнів. При заміненні арматурної сталі одного класу іншим, окрім площ поперечного перерізу арматури, враховують розрахункові опори сталей.

При розрахунках замінення діаметра чи класу арматури проводять декілька варіантів розрахунків і вибирають найбільш оптимальний. В деяких випадках при заміненні вимушені йти на перевитрату арматури.

Замінення арматури може здійснюватись в тих арматурних виробах, які після замінення арматурних сталей не змінюють схеми армування. Замінен-

ня арматури в сітках і каркасах може бути виконано з врахуванням принципу симетрії, при цьому довжина і ширина виробів не повинна змінюватись, крок поздовжньої та поперечної арматури повинен бути однаковим.

У випадку замінення арматури меншого діаметру на арматуру більшого діаметру необхідно враховувати ширину розкриття тріщин, що розраховують згідно вимог СНиП 2.03.01.

При підвищенні класу і збільшенні діаметру поперечної арматури, яка підлягає заміненню, слід використовувати перевірку величини кроку поперечної арматури та достатності її інтенсивності на 1 м довжини, тобто, крок такої арматури не повинен перевищувати максимально допустимого значення за СНиП 2.03.01 [101]. Крім того, необхідно здійснювати перевірку можливості виконання після замінення зварних з'єднань та визначати довжину перепуску в місцях обривів і з'єднань.

Прийняті при заміненні діаметри арматурних стержнів і відстані між ними повинні відповідати технічним можливостям зварювального обладнання, яке є на підприємстві.

При заміненні арматурної сталі періодичного профілю робочої арматури збірних елементів, що працюють на вигин, на гладку арматурну сталь необхідно забезпечити надійність анкетування робочих стержнів (наприклад, за рахунок приварювання поперечних стержнів на опорних ділянках).

В стропувальних пристроях (стропувальних чи монтажних петлях) допускається змінення арматурної сталі класу А-І(А240) на сталь класу А-ІІ(А300) (марки 10ГТ) і навпаки. При визначенні в процесі замінення діаметра прийнятої арматурної сталі необхідно враховувати величини розрахункових опорів розтягуванню для відповідних класів сталі.

Допускається використання штабової сталі чи квадратного прокату для стропувальних петель замість круглої арматурної сталі, яка звичайно використовується. При подібних заміненнях необхідно, щоб фізико-механічні характеристики і технологічні властивості, прийнятого для замінення виду сталі, були аналогічними якостям сталей стропувальних петель, передбачених проектною документацією.

В закладних виробах забороняється змінювати схему, навіть тоді коли це обґрунтовано розрахунками, також забороняється змінювати клас, розміщення арматурних стержнів і марку арматурної сталі. Дозволяється змінювати тільки діаметри анкерних стержнів і тільки в бік збільшення. Замінення закладних виробів може здійснюватися в формі переходу від зварних закладних виробів і монтажних випусків до штампованих закладних виробів і навпаки.

Зважаючи на особливості деяких видів конструкцій, їх частин і вузлів з'єднання, пов'язаних з характером закріплення, відсутністю можливості перерозподілу зусиль, обмеженням розмірів спряжених ділянок, специфі-

кою роботи конструкцій, експлуатаційними вимогами і т. ін., замінення армування, у порівнянні з передбаченими проектною документацією рішеннями, може виконуватись тільки при умові погодження запропонованих замін з проектною організацією.

До числа подібних конструкцій, їх елементів і вузлів, відносяться:

– всі види напружуваної арматурної сталі, при замінені якої необхідно виконувати повний об'єм розрахунків конкретних конструкцій;

– вузли спряження збірних залізобетонних елементів споруд, що зводяться в особливих інженерно-геологічних умовах (сейсмічні райони, посадочні ґрунти і т. і.);

– вузли кріплення балконних плит консольної конструкції до стін чи перекриття;

– вузли кріплення сходових площадок до консольних випусків внутрішніх стінових панелей сходових кліток;

– гнучкі зв'язки і стропувальні петлі в тришарових зовнішніх стінових панелях з ефективним утеплювачем;

– розміщення і розміри пластин закладних виробів для кріплення напрямних в ліфтових шахтах.

Замінення, яке проводиться з наведенням характеру змін, що викликали їх причини, і дати прийняття рішення, повинні фіксуватися в відповідному журналі реєстрації змін армування чи іншому аналогічному документі, що зберігається на підприємстві і пред'являється контрольним органам за їх вимогою.

Факт відміни тимчасових змін і переходу до офіційного проектного рішення армування також відмічається в указаному документі.

По мірі прийняття рішень про замінення армування, але не пізніше ніж через місяць, записи про змінення армування тих чи інших збірних елементів представляються на погодження місцевим проектним організаціям. Подібні погодження можуть відбуватися і без безпосереднього пред'явлення журналу, шляхом обміну листами. Роль проектної організації можуть виконувати і проектний підрозділ відповідного проектно-будівельного об'єднання.

Якщо в процесі погодження проектна організація заявить протест проти прийнятого підприємством рішення про замінення армування, випуск відповідних збірних виробів або проведення робіт на будівельному майданчику із зміненним армуванням повинно бути негайно припинено до вирішення спірного питання у вищих інстанціях підприємства і проектної організації.

В тих випадках, коли на підприємстві відсутні відповідні інженерні кадри, які можуть самостійно вирішувати питання замінення армування в збірних конструкціях, слід звернутися в відповідну місцеву проектну організацію і замовити виконання розрахунків.

В складних випадках замінення армування доцільно проводити спеціальні випробування конструкцій з зміненням армуванням; подібні випробування, як правило, проводять із залученням на договірних засадах відповідних проектних і науково-дослідних інститутів і спеціалізованих лабораторій.

6.2. Розрахунок замінення в арматурних виробах діаметра арматури одного класу

При заміненні повинна виконуватись умова, щоб сумарна площа поперечного перерізу арматури, яка є в наявності була рівною чи більшою сумарної площі замінюваної арматури.

Спочатку визначають площу поперечного перерізу одного стержня замінюваної арматури (S_q) за довідниковими даними або за формулою (6.2):

$$S_q = \frac{\pi d_н^2}{4}, \text{ мм}^2, \tag{6.2}$$

де π — постійна величина, $\pi = 3{,}14$; $d_н$ — номінальний діаметр арматури, мм.

Сумарну площу — $\sum S_q$, замінюваної арматури для конкретного арматурного виробу, підраховують за формулою (6.3):

$$\sum S_q = S_q \cdot n, \text{ мм}^2, \tag{6.3}$$

де n — кількість стержнів в арматурному елементі.

Визначають площу поперечного перерізу одного стержня наявної арматури (S_n), тобто тієї, на яку замінюють, за формулою (6.2) або за довідниковими та нормативними документами.

Число стержнів наявної арматури в арматурному виробі, (n_1), визначають за формулою (6.4):

$$n_1 = \frac{\sum S_q}{S_n}, \text{ шт.} \tag{6.4}$$

Отримане значення округлюють до цілого числа, в більший бік.

Контролем правильності проведених розрахунків є встановлення перевитрати сталі після замінення. Перевитрата арматурної сталі для певного арматурного виробу (ΔQ) повинна знаходитися в межах 1–2% і визначається за формулою (6.5):

$$\Delta Q = \frac{Q_n - Q_q}{Q_n} \cdot 100\%, \tag{6.5}$$

де Q_n — сумарна маса наявної арматури, з врахуванням необхідності змінення кількості стержнів арматурного виробу, кг; Q_q — сумарна маса дефіцитної замінюваної арматури, для даного арматурного елемента, кг. Сумарна маса (Q_q чи Q_n) визначається за формулою (6.6):

$$Q_q = q \cdot \Sigma l, \text{ кг}, \qquad (6.6)$$

де q — маса погонного метра, кг, визначається за нормативною документацією і довідниками; Σl — сумарна довжина замінюваної арматури, м.

Приклад розрахунку. Необхідно розрахувати замінення арматурної сталі для виготовлення плоского арматурного каркаса КР-19 (рис. 6.1) з врахуванням відсутності на підприємстві арматурного дроту Вр-І діаметром 5 мм.

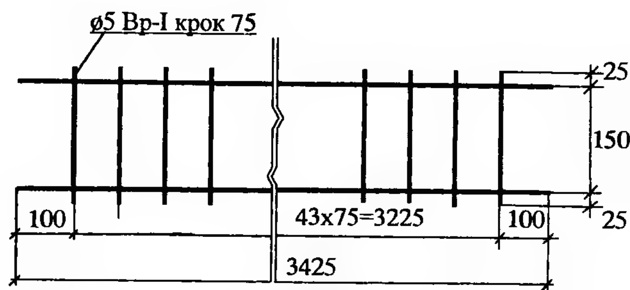


Рис. 6.1. **Креслення плоского арматурного каркаса КР-19**

1. Визначаємо площу поперечного перерізу одного стержня дефіцитної арматури діаметром 5 мм Вр-І:

$$S_q = 19{,}6 \text{ мм}^2.$$

2. Сумарна площа поперечного перерізу дефіцитної арматури складає:

$$\Sigma S_q = S_q \cdot n = 19{,}6 \times 44 = 862{,}4 \text{ мм}^2.$$

3. Замість дефіцитної арматури діаметром 5 Вр-І є можливість використання дроту діаметром 4 мм Вр-І. Площа поперечного перерізу одного стержня наявної арматури (табл. 3.8):

$$S_n = 12{,}6 \text{ мм}^2.$$

4. Підраховуємо кількість стержнів наявної арматури:

$$n_1 = \frac{\Sigma S_q}{S_n} = \frac{862{,}4}{12{,}6} = 68{,}4 \text{ шт.}$$

Отримане значення округлюємо в більший бік до цілого числа $n_1 = 69$ шт.

5. Визначаємо перевитрати арматурної сталі на виріб:

– маса всіх стержнів дефіцитної сталі:

$$Q_q = q \cdot \Sigma l = 0{,}154 \cdot (0{,}2 \times 44) = 0{,}154 \times 8{,}8 = 1{,}36 \text{ кг};$$

– маса всіх стержнів арматури на яку замінюють (наявної):

$$Q_n = q^1 \cdot \Sigma l^1 = 0{,}099 \cdot (0{,}2 \times 69) = 0{,}99 \times 13{,}8 = 1{,}37 \text{ кг};$$

– перевитрата складає:

$$\Delta Q = \frac{Q_n - Q_q}{Q_n} \cdot 100\% = \frac{1{,}37 - 1{,}36}{1{,}37} \cdot 100\% = 0{,}73\% < 1 - 2\%.$$

6. Загальний вигляд каркаса після замінення наведено на рис. 6.2.

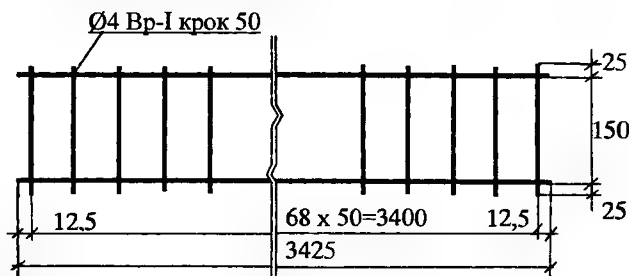


Рис. 6.2. **Креслення плоского арматурного каркаса КР-19 після замінення арматури**

6.3. Розрахунок замінення арматури в арматурних виробах із зміненням класу арматурної сталі

Розрахунок починають з визначення площ поперечного перерізу одного стержня дефіцитної арматури (S_q) і тієї на яку замінюють (S_n) за формулою (6.2) або за нормативною і довідковою літературою.

Сумарну площу поперечного перерізу всіх замінюваних стержнів, (ΣS_q), для конкретного арматурного виробу підраховують за формулою (6.3).

Несучу спроможність всієї замінюваної, передбаченої проектом арматури в даному виробі ($P_q^в$) підраховують за формулою (6.7):

$$P_q^в = R_S \cdot \Sigma S_q, \text{ Н}, \qquad (6.7)$$

де R_S – розрахунковий опір розтягнення замінюваної арматури (передбаченої проектною документацією) для граничного стану першої групи, МПа (Н/мм^2).

Визначають несучу спроможність одного стержня наявної арматури (P_n^c) за рівнянням (6.8):

$$P_n^c = R'_S \cdot S_n, \text{ Н}, \qquad (6.8)$$

де R'_S – розрахунковий опір розтягнення, для граничного стану першої групи арматури, що приймається на час дефіциту, МПа (Н/мм^2).

Число стержнів наявної арматури, n_1, в арматурному виробі визначають за формулою (6.9):

$$n_1 = \frac{P_q^{в}}{P_n^{c}},\ \text{шт.} \qquad (6.9)$$

Отримане значення округлюють до цілого числа в більший бік.

Несучу спроможність всієї наявної арматури в даному виробі підраховують за формулою (6.10):

$$P_n^{в} = R_S' \cdot \Sigma S_n,\ \text{Н}, \qquad (6.10)$$

де ΣS_n – сумарна площа поперечного перерізу наявної арматури, мм^2, з врахуванням зміненої кількості елементів арматурного виробу, що підраховується за формулою (6.11):

$$\Sigma S_n = S_n \cdot n_1,\ \text{мм}^2. \qquad (6.11)$$

Контролем правильності проведених розрахунків є забезпечення виконання умови (6.1), при цьому перевитрата сталі (ΔQ) повинна знаходиться, як і в попередньому розрахунку, в межах 1–2%. Перевитрата розраховується за формулами (6.5)–(6.6).

Приклад розрахунку. Необхідно розрахувати замінення арматурної сталі для виготовлення арматурної сітки С-4 (рис. 6.3) з врахуванням відсутності на підприємстві арматурної сталі класу А-І(А240).

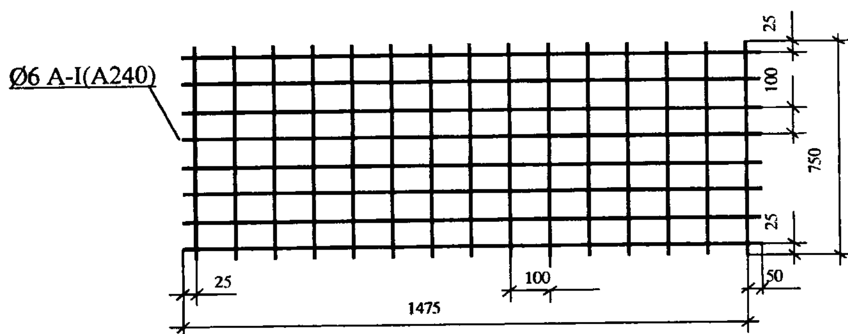


Рис. 6.3. **Креслення плоскої арматурної сітки С-4**

1. Визначаємо площу поперечного перерізу одного стержня дефіцитної арматури:

$$S_q = 28{,}3\ \text{мм}^2.$$

2. Сумарна площа поперечного перерізу дефіцитної арматури складає:

$$\Sigma S_q = S_q \cdot n = 28{,}3 \times 8 = 226{,}4\ \text{мм}^2.$$

3. Визначаємо несучу спроможність всієї дефіцитної арматури в даному виробі, яка передбачена проектом:

$$P_q^в = R_S \cdot \Sigma S_q = 225 \times 226{,}4 = 50940 \text{ Н}.$$

4. Замість дефіцитної арматури класу А-I(А240) є можливість використання дроту класу Вр-I діаметром 4 мм. Площа поперечного перерізу одної дротини наявної арматури (табл. 3.8):

$$S_n = 19{,}6 \text{ мм}^2.$$

5. Несуча спроможність одного стержня наявної арматури складає:

$$P_n^c = R_S' \cdot S_n = 365 \times 19{,}6 = 7154 \text{ Н}.$$

6. Підраховуємо кількість стержнів наявної арматури:

$$n_1 = \frac{P_q^в}{P_n^c} = \frac{50940}{7154} = 7{,}12 \text{ шт}.$$

Отримане значення округлюємо в більший бік до цілого числа $n_1 = 8$ шт.

7. Визначаємо несучу спроможність всієї наявної арматури, для цього спочатку підраховуємо сумарну площу всієї наявної арматури в виробі:

$$\Sigma S_n = S_n \cdot n_1 = 19{,}6 \times 8 = 156{,}8 \text{ мм}^2.$$

$$P_n^в = R_S' \cdot \Sigma S_n = 365 \times 156{,}8 = 57232 \text{ Н}.$$

8. Перевіряємо чи виконується умова, тобто несуча спроможність арматурної сталі в арматурному виробі після заміни повинна бути більшою чи рівною передбаченою проектом:

$$P_n^в = 57232 \text{ Н} > P_q^в = 50940 \text{ Н}$$

Умова виконується, що свідчить про правильність проведених розрахунків.

9. Визначаємо перевитрати арматурної сталі на виріб:

– маса всіх стержнів дефіцитної сталі:

$$Q_n = q \cdot \Sigma l = 0{,}222 \cdot (1{,}475 \times 8) = 0{,}222 \times 11{,}8 = 2{,}61 \text{ кг};$$

– маса всіх стержнів арматури, на яку замінюють (наявної):

$$Q_n = q^1 \cdot \Sigma l^1 = 0{,}154 \cdot (1{,}475 \times 8) = 0{,}154 \times 11{,}8 = 1{,}81 \text{ кг};$$

– перевитрата складає:

$$\Delta Q = \frac{Q_n - Q_q}{Q_n} \cdot 100\% = \frac{1{,}81 - 2{,}61}{1{,}81} \cdot 100\% = -44\% < 1 - 2\%.$$

При замінюванні маса поздовжніх стержнів сітки С-4 зменшується на 44%.

10. Загальний вигляд арматурної сітки не змінився, тому що кількість стержнів, після заміни, залишилася згідно креслення (рис. 6.3).

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Який принцип лежить в основі замінення класів арматурної сталі чи зміні сортаменту?

2. Назвіть в яких конструкціях, їх елементах і вузлах замінення може проводитися тільки при умові погодження запропонованих змін з проектною організацією.

3. Який порядок проведення розрахунку замінення діаметра арматури, тобто зміна сортаменту, в арматурних виробах? Що є контролем правильності проведених розрахунків?

4. Які обмеження при проведенні змін в закладних виробах і стропувальних петлях?

РОЗДІЛ 7

МАРКУВАННЯ АРМАТУРНОЇ СТАЛІ. СУПРОВОДЖУЮЧА ДОКУМЕНТАЦІЯ НА АРМАТУРНІ СТАЛІ І ВИРОБИ

7.1. Маркування арматурного прокату

В більшості країн-виробників арматурного прокату, в тому числі і в Україні, для прокату періодичного профілю використовують прокатне маркування, тобто маркування, яке наносять безпосередньо на металопродукцію. Використовують прокатне маркування у вигляді: пропусків ребер; міток на поперечних виступах чи коротких маркувальних поперечних ребер; потовщених поперечних виступів; літер і цифр. Для арматури, що постачається в бунтах, рельєфне маркування не використовується, а для маркування можуть використовуватись пропуски ребер.

Літери і цифри, які використовують для прокатного маркування, як наприклад в США (рис. 7.1) і Латвії, можуть вказувати символи, профілі, діаметр, клас, марку сталі і назву країни. Позначення літерами і цифрами виконують перпендикулярно осі стержня і розташовують (кожний знак окремо) між двома суміжними поперечними виступами без пропусків.

Згідно EURONORM [38] і інших європейських стандартів [4], гармонізованих з EURONORM і ISO, передбачається виконання прокатного маркування шляхом певного розташування потовщених поперечних виступів. Прокатне маркування має наступну структуру:

– початок маркування;
– позначення країни-виробника;
– позначення заводу-виробника.

Знак початку маркування виконують у вигляді двох суміжних потовщених ребер (рис. 7.1). За знаком початку маркування позначають країну виробника числом поперечних виступів між маркувальними знаками. В табл. 7.1 наведені дані про ідентифікацію країн-виробників.

Далі йде позначення заводу-виробника, яке позначають числом поперечних виступів, в тому числі і потовщених, які закріплені за певним підприємством. Кінець маркування помічають потовщеним ребром.

Маркування заводу і позначення країни повинні повторюватися через кожний метр [4].

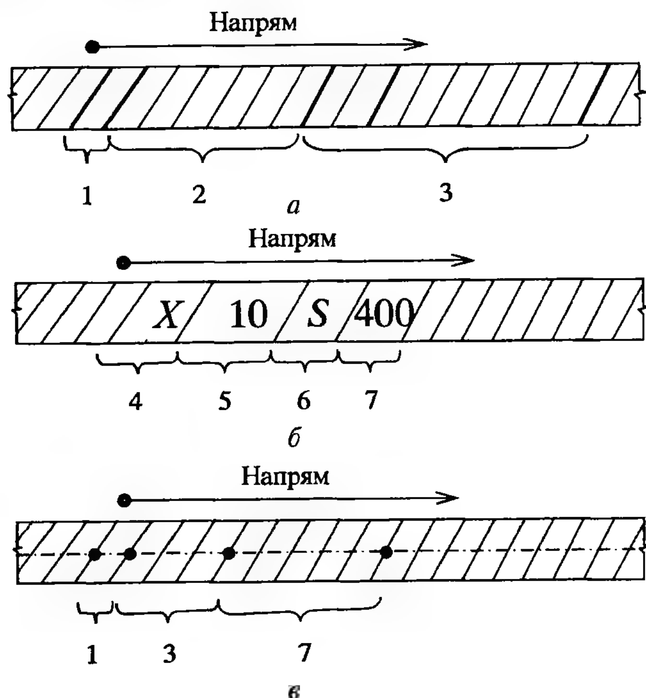


Рис. 7.1. **Схема прокатного маркування арматури за кордоном:**
а – країни Євросоюзу за європейським стандартом EN 10080 (клас B500W); *б* – США за стандартом ASTM A615M (клас G60); *в* – Росія за ТУ 14-1-5254-94 (клас А500С)
1 – початок маркування; 2 – позначення країни-виробника; 3 – позначення заводу-виробника; 4 – позначення заводської марки; 5 – діаметр прокату; 6 – символ відповідності стандарту (ASTM); 7 – клас міцності прокату

Таблиця 7.1

Країна	**Кількість поперечних виступів між потовщеними виступами**
Австрія, Німеччина	1
Бельгія, Голландія, Люксембург, Швейцарія	2
Франція	3
Італія	4
Великобританія, Ірландія, Ісландія	5
Данія, Швеція, Норвегія, Фінляндія	6
Іспанія, Португалія	7
Греція	8

В нашій країні прокатне маркування наносять безпосередньо на металопродукцію, якщо вона не підлягає пакуванню. Прокатне маркування арматурних сталей періодичного профілю, як в Україні, так і в Росії [37, 52, 71], яке виконують у вигляді маркувальних коротких поперечних ребер або точок на поперечних виступах (рис. 7.2), має наступну структуру:

– знак початку маркування;
– позначення заводу-виробника;
– позначення класу міцності арматурної сталі.

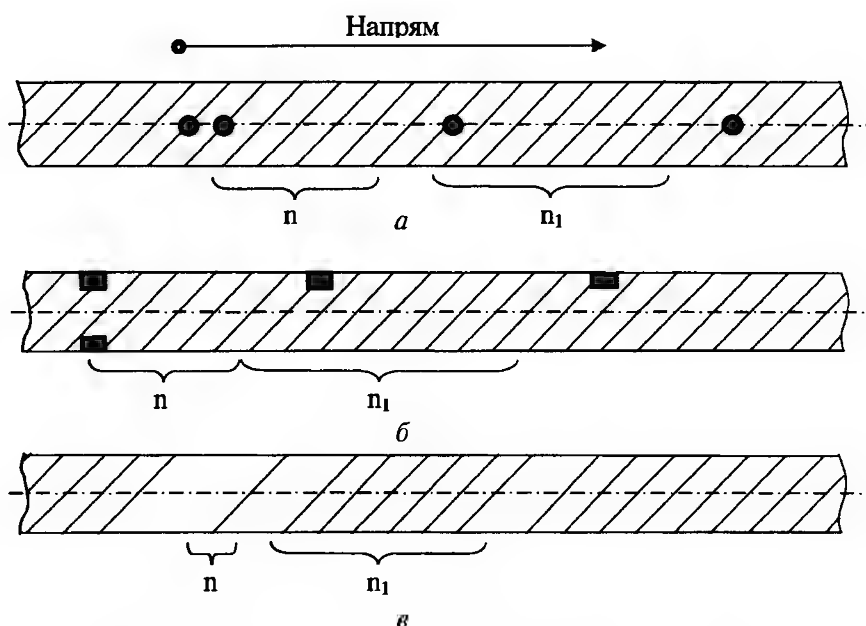


Рис. 7.2. **Маркування арматурної сталі періодичного профілю:**
а – маркувальні точки на поперечних виступах профілю (клас Ат1200); *б* – маркувальні короткі поперечні ребра (клас Ат1200); *в* – пропуски ребер (клас А1000)
n – позначення заводу-виробника; n_1 – позначення класу міцності прокату

Початок маркування позначають маркувальними знаками у вигляді двох маркувальних коротких поперечних ребер, що примикають до протилежних поздовжніх ребер, або двох маркувальних точок на сусідніх поперечних виступах профілю.

За знаком початку маркування позначають завод-виробник, числом поперечних виступів n в інтервалі між маркувальними знаками.

Згідно ДСТУ 3760 [37] для підприємств-виробників України встановлене маркування, що наведене в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Підприємство виробник	Кількість виступів (n)
ВАТ «Міттал Стіл Кривий Ріг»	2
ВАТ «Дніпровський меткомбінат»	3
ВАТ «Донецький металопрокатний завод»	4
ВАТ «Донецький металургійний завод»	5
ВАТ «Макіївський меткомбінат»	6
ВАТ «Єнакієвський метзавод»	7
Краматорський метзавод	8
ВАТ «Запорозький сталепрокатний завод»	9

Примітка. Кількість виступів може бути змінена після узгодження умов прокатного маркування з іншими державами СНД.

Далі йде позначення класу міцності арматурної сталі. Клас міцності арматурної сталі позначають числом поперечних виступів згідно табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Клас міцності арматурної сталі	Число поперечних виступів (n_1)
А300С	2
А400С, Ат400	3
А500С, Ат500	1
А600С, А600, А600К, Ат600, Ат600С, Ат600К	4
А800, А800К, А800СК, Ат800К, Ат800	5
А1000, Ат1000	6
Ат1200	7

На деяких підприємствах України використовують прокатне маркування у вигляді пропусків ребер, наприклад КГГМК «Криворіжсталь» (з 2005 р підприємство має назву ВАТ «Міттал Стіл Кривий Ріг»). При цьому структура маркування залишається, як і при інших способах прокатного маркування (рис. 7.2) Відмінністю такого маркування є те, що маркувальними знаками є відсутність одного поперечного ребра, а початок маркування позначають у вигляді пропуску двох сусідніх поперечних виступів.

Можливе прокатне маркування прокату з врахуванням присвоєного країнам СНД єврономеру Е.9 (дев'ять поперечних виступів), який розташовується перед позначенням підприємства [4].

Маркування наносять на відстані не більше як 200 мм від торця кожного прутка. Допускається, при механізованому маркуванні в потоці, наносити маркування на іншій відстані, але не більше як 500 мм.

Згідно діючих на території України нормативних документів і технічних умов, передбачається нанесення додаткового кольорового маркування. Спосіб нанесення додаткового кольорового маркування зазначається у стандартах на конкретні види продукції.

Так, за згодою між виробником і споживачем здійснюють кольорове маркування фарбою:

– за ГОСТ 10884: Ат400С – біла, Ат500С – біла і синя, Ат600 – жовта, Ат600С – жовта і біла, Ат600К – жовта і червона, Ат800 – зелена, Ат800К – зелена і червона, Ат1000 – синя, Ат1000К – синя і червона і Ат1200 – чорна;

– за ГОСТ 5781: А-IV (А600) – червона, А-V (А800) – червона і зелена, А-VI (А1000) – червона і синя;

– за ТУ У 27.1-4-551-2003: клас А550С – біла і зелена.

Маркування виконують кольоровим лаком, незмивною фарбувальною речовиною або фарбою, які наносять на торець або кінець в'язки прутків металопродукції згідно з вимогами стандартів на конкретні види продукції.

На вимогу споживача, додатково, на відстані не менше як 300–500 мм від торця в'язки, маркують металопрокат із спокійної сталі поздовжньою смугою, а з напівспокойної – поперечною смугою такого кольору, як марка сталі. Довжина смуги 100–150 мм.

Згідно з діючими нормативними документами [22, 25, 36, 37, 69–71, 74], окрім прокатного і додаткового кольорового маркування використовують ярлики (маркувальні карти). Маркування наносять на ярлики, якщо арматурна сталь упакована в в'язки, мотки, в'язки мотків (бунти) та контейнери.

Окрім арматурного прокату ярлики використовують і при постачанні товарних арматурних виробів (сіток, каркасів, закладних деталей і т. д.).

Під час транспортування та розвантаження повинна забезпечуватись цілісність маркувальних карт та їх кріплення. Застосовують металеві, пластмасові, дерев'яні ярлики або із водостійкої плівки з рекомендованим відношенням сторін від 1 : 1 до 1 : 2 і площею не менше як 24 см^2. Допускається при погоджені виробника і споживача застосовувати ярлики з іншим відношенням сторін.

На в'язки прутків необхідно навіщувати два ярлики, на мотки та рулони – один. Коли металопродукція зв'язана у в'язки і стопи рулонів, один ярлик навішують на один із мотків або рулонів і один – на обв'язку.

Ярлики міцно прикріплюють до обв'язок з боку зручного для огляду, або вміщують у спеціальний карман. В разі навішування двох ярликів останні прикріплюють до обв'язок в'язки прутків або мотка. За згодою між виробником і споживачем на в'язку навішують один ярлик.

Маркування, яке наносять на ярлик (маркувальну карту), повинне містити:

– найменування або/і товарний знак підприємства-виробника;

– марку сталі або її умовне позначення з розшифровкою в документі про якість, групу або клас міцності;

– номер партії, якщо плавка ділиться на партії, розмір (діаметр, сторона квадрата, товщина, довжина, ширина, номер профілю);

– номер плавки або її умовне позначення з розшифровкою в документі про якість;

– масу нетто (фактичну) в'язки прутків, мотка, рулону або в'язки мотків та стопи рулонів, якщо металопродукцію постачають за здавальною (теоретичною) масою, додатково вказують знак «ТМ». Масу допускається позначати на додаткових ярликах на конкретні види металопродукції. За згодою із споживачем масу не вказують.

Якщо механічні властивості арматурного прокату не відповідають нанесеному прокатному маркуванню, то на ярлику і в документі про якість зазначають фактичний клас прокату. В такому випадку кінці стержнів або мотків повинні бути пофарбовані білою фарбою.

Маркування металопродукції, яка поставляється на зовнішній ринок. Металопродукцію маркують незмивною фарбою, яку наносять за допомогою трафарету, або ярликом із водостійкої плівки:

– при відвантаженні в країни, які беруть участь в Угоді про міжнародне вантажне сполучення (УМВС) – російською мовою;

– в інші країни – англійською мовою, якщо інше не передбачено контрактом-специфікацією або замовленням-нарядом.

Маркування наносять із двох торцевих боків вантажного місця або, якщо маркування з двох торцевих боків практично неможливе, з одного поздовжнього боку.

Допускається маркування наносити на металеву маркувальну карту, яка міцно прикріплюється не менше як у двох місцях до обв'язки.

За відсутності технічної можливості виконати маркування фарбою або прикріпити маркувальну карту безпосередньо на вантажне місце допускається навішувати металеві ярлики, так звані експортні ярлики.

На металопродукцію, яка ув'язана в в'язки прутків довжиною до 6 м, навішують один ярлик, довжиною більше як 6 м – два ярлики, по одному на кожному кінці в'язок; на моток, в'язку мотків, рулон та стопу рулонів – по два ярлики; на моток катанки – один ярлик.

Ярлики необхідно виготовляти з білої бляхи, оцинкованого листового прокату, тонколистового прокату, який не піддається корозії, а також із водостійкої плівки, нанесеної на металеву або тверду основу. Розмір ярликів не менше як 80 × 120 мм з відношенням сторін 1 : 1,5.

Маркування, яке наносять на прокат або ярлик, повинне містити:

– найменування виробника;

– найменування експортуючої організації;

– контракт-специфікацію;

– країну призначення вантажу;

– розмір металопродукції, яка постачається (діаметр, сторона квадрата, товщина, ширина, номер профілю, довжина);

– марку сталі, а також групу або клас міцності при нанесенні маркування на ярлик;

– номер плавки та номер партії, якщо плавка ділиться на партії;

– масу брутто та нетто, кг;

– номер місця (дробом: чисельник – порядковий номер даного місця, знаменник – загальна кількість місць у даній партії).

Зміст маркування може змінюватися за згодою між споживачем і виробником.

На вимогу споживача додатково наносять кольорове маркування фарбою. Кольорове маркування наносять на упаковку вантажного місця чи безпосередньо на металопродукцію в торці або на верхній ряд прутків чи листів, які постачають у пакетах, на відстані не менше як 500 мм від торця. Вид додаткового кольорового маркування та його колір встановлюють за згодою сторін.

7.2. Супроводжувальна документація на арматуру. (Сертифікат)

Кожна партія металопродукції, в тому числі і арматурних виробів, супроводжується документом про якість – сертифікатом. Згідно ДСТУ 3058 [36] документ повинен містити:

– найменування і/або товарний знак підприємства-виробника;

– найменування споживача;

– номер замовлення;

– дату оформлення документа про якість;

– марку сталі, групу або клас міцності;

– номер плавки і номер партії, якщо плавка ділиться на партії;

– найменування металопродукції;

– розміри, кількість місць, їх загальну масу та, в разі поставлення за здавальною (теоретичною) масою, знак «ТМ», коефіцієнт перерахунку

(для листового прокату допускається замість коефіцієнта перерахунку зазначати теоретичну масу одного листа або 1 м довжини рулонного прокату), відомості про групи та категорії прокату за властивостями, якістю поверхні, призначенням та інші вимоги, які передбачені нормативним документом на прокат;

– номер нормативного документа;

– хімічний склад сталі за ковшовою пробою або в готовому прокаті;

– результати всіх випробувань, у тому числі факультативні показники на вимогу споживача. Допускається замість результатів всіх випробувань наводити: *«Металопродукція відповідає нормативному документу чи сертифікату»*;

– відомості про режим термічного оброблення на вимогу споживача;

– штамп відділу технічного контролю.

Згідно нормативній документації на арматуру [68, 71], в сертифікатах на арматурну сталь обов'язково зазначають: номінальний діаметр (номер профілю), мм; клас арматурної сталі; відхилення значень тимчасового опору розриву і границі текучості в партії; результати випробувань на вигін в холодному стані. Значення рівномірного подовження зазначають для всіх класів термічно і термомеханічно зміцненої арматури і для гарячекатаної класів A-IV(A600), A-V(A800), A-VI(A1000).

Згідно з державним нормативним документом ДСТУ 3760 [37], в сертифікаті, окрім номінального діаметра, додатково наводять і результати випробувань на вигін в холодному стані.

В документі про якість на вимогу споживача наводять дані випробувань на релаксацію напруги, втомну міцність, згинання з розгинанням.

В сертифікатах на арматурні канати [74] додатково зазначають: діаметр каната, мм; крок сукання, мм; номер барабана чи бухти.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Яку структуру має прокатне маркування сталей періодичного профілю в Україні?

2. Назвіть вміст маркування, яке наносять на маркувальні карти (ярлики). В яких випадках використовують ярлики?

3. Який вид додаткового маркування, згідно діючих нормативних документів, використовують в Україні?

4. Як маркують металопродукцію, що поставляється закордон? Назвіть вміст маркування.

5. Яким документом супроводжується партія металопродукції? Що вміщує цей документ?

6. Які показники обов'язково необхідно наводити в супроводжуючих документах на арматурну сталь?

РОЗДІЛ 8

КОНТРОЛЬ АРМАТУРНИХ СТАЛЕЙ І АРМАТУРНИХ ВИРОБІВ

8.1. Контроль якості арматурних сталей

8.1.1. Вхідний контроль арматурної сталі

Вхідний контроль арматурної сталі здійснюють у відповідності до діючих нормативних документів, а саме: класів А-I(А240) – А-VI(А1000) – за ГОСТ 5781; класів А240С – А1000 – за ДСТУ 3760; класів Ат400С – Ат1200 – за ГОСТ 10884; звичайного дроту Вр-I – за ГОСТ 6727; високоміцного дроту з вуглецевої сталі В-II і Вр-II – за ГОСТ 7348; канатів К-7 – за ГОСТ 13840.

Арматурний прокат приймають партіями, у випадку наявності декількох партій арматурного прокату одного діаметру з одної плавки, допускається виконувати вхідний контроль одної з партій плавки [93].

При прийманні (надходженні) металопродукції необхідно співставити результати зовнішнього огляду, обмірювання і даних сертифікату з вимогами нормативних документів до даного виду і класу сталі.

Якість поверхні арматурної сталі оглядають без застосування оптичних збільшуючих приладів. На поверхні дроту і стержнів, включаючи поверхню ребер і виступів, не повинно бути: тріщин, шпарин, раковин, закатів, плям. На поверхні дротин канату не повинно бути тріщин, пелен, раковин, розшарувань, вм'ятин і зрізів; в канатах не повинно бути обірваних дротин, таких, що перехрещуються і виступаючих за межі встановлених допусків. При наявності перелічених дефектів, партія арматурної сталі бракується і повертається на підприємство-постачальник.

Допускаються окремі поверхневі дефекти: для дроту – забоїни, риски, сліди від протягування і профілювання, що не перевищують встановлені границі за діаметром; для арматурних стержнів – окремі місцеві пошкодження ребер і виступів (не більше 3-х на 1 м довжини), незначна іржа, вм'ятини, напливи, рябизни, шорсткість; для канатів – забоїни, риски, сліди від протягування не більше 1/3 допустимого відхилення за діаметром каната, а також кольори мінливості і наліт іржі.

Згідно деяким іноземним нормативним документам (наприклад в США і Канаді), поверхневі дефекти не повинні негативно впливати на службові характеристики прокату. Іржа, волосовини, нерівності

поверхні і вторинна окалина не є бракувальними ознаками, якщо маса, розміри, поперечний переріз і результати випробувань на розтягування і згинання прокату, зачищеного вручну щітками, відповідають вимогам стандарту [4].

Геометричні параметри арматурних сталей перевіряють вимірювальними приладами необхідної точності. Розміри вимірюють на відстані не менше 150 мм від кінця стержня чи не менше 3000 мм від кінця мотка. Крок сукання визначають на відстані не менше 5 м від кінця каната.

Діаметр і овальність арматурної сталі заміряють в двох взаємо перпендикулярних напрямках і визначають як середнє арифметичне значення трьох вимірювань, проведених на ділянках 1 м.

Лінійну густину (масу 1 погонного метру) визначають як середнє арифметичне значення маси двох зразків довжиною 1 м, зважених з точністю до 0,01 кг.

Прямолінійність дроту і канатів визначають згідно методик, наведених в відповідних стандартах.

Марку і клас арматури контролюють за заводським сертифікатом, а якщо його немає – за результатами лабораторних випробувань. Якщо необхідно уточнити марку сталі, перевіряють її склад хімічним або спектральним аналізом в спеціалізованих лабораторіях, обладнаних відповідними приладами і устаткуванням. Контроль хімічного складу імпортованої сталі необхідно проводити завжди, незалежно від наявності сертифікату.

8.1.2. Лабораторні випробування

Контрольні випробування арматурної сталі для перевірки її механічних властивостей виконують:

– при відсутності супроводжуючого сертифікату;

– коли виникають сумніви, щодо даних заводського сертифікату;

– у випадках використання сталей для напружуваної арматури;

– при одержанні імпортованої сталі;

– коли випробування передбачено проектно-технічною документацією чи спеціальними вказівками з використання окремих видів сталевої арматури.

Для проведення випробувань від кожної партії стержньової арматури відбирають по 2 прутки, від яких потім відрізають по одному зразку для перевірки сталі на розтягування і згинання в холодному стані.

Від кожної партії дротяної арматури, як звичайної так і високоміцної, відбирають 10% від партії але не менше 5 зразків для випробування на розтягування, згинання і на перегинання.

Якщо з якогось виду механічних випробувань одержано незадовільні результати хоч би одного зразка, випробування повторюють на подвійній

кількості контрольних зразків. Результати повторних випробувань вважають остаточними.

Випробування на розтягування. Для арматури залізобетонних конструкцій, особливо напружуваної, яка використовується весь термін експлуатації конструкції при високих напруженнях і працює при цьому практично на осьове розтягнення чи стискання, основним критерієм оцінки її механічних властивостей є випробування на розтягування [47, 52, 58, 79, 94].

Випробування арматурної сталі на розтягування суттєво відрізняється від випробування на розтягування інших видів сталі. Це пов'язано з тим, що в даному випадку виявляються не тільки механічні властивості сталі як такої, але й властивості стержня арматури, пов'язані з наявністю профілю, додаткової зміцнюючої обробки і т. і.

Механічні властивості сталі, що визначаються при короткочасному і тривалому випробуванні на розтягування, дозволяють оцінити не тільки міцність, але й пластичність, в'язкість, а також схильність до релаксації напружень і ряд інших показників. Це звісно, не виключає інших видів випробувань таких, як випробування на згинання, перегинання, ударну в'язкість, визначення проценту в'язкої складової на зламі. Однак, ці показники дають не пряму оцінку властивостей сталі і повинні проводитися за спеціально розробленими методами з врахуванням дійсної роботи арматури в залізобетонних конструкціях.

Особливістю вимог до механічних властивостей високоміцної, переважно напружуваної, арматурної сталі є обов'язкове визначення відносного рівномірного подовження після розривання δ_p чи перед розриванням δ_n.

При осьовому розтягуванні величина рівномірного подовження є одним з критеріїв можливого крихкого руйнування сталі в часі. Крім того, в залежності від відносної висоти стисненої зони залізобетонних елементів, величина δ_p чи δ_n може визначити характер руйнування елементів, що згинаються, навіть при більш високій локальній в'язкості і пластичності напружуваної арматурної сталі [14, 15, 54, 58, 83, 111].

Існуючі і ті, що знаходяться в стані розроблення, вітчизняні і закордонні стандарти на випробування арматурної сталі на розтягування передбачають проведення випробувань на натурних зразках арматури.

На розтягування випробовують арматурні сталі діаметром від 3 до 80 мм (дріт, стержні, арматурні канати), призначені для армування звичайних і попередньо напружених залізобетонних конструкцій. Використовують зразки арматури з необробленою поверхнею, допускається випробування обточених зразків при номінальних діаметрах більше 20 мм [73].

Оцінка характеристики механічних властивостей за результатами випробувань точених зразків, хоча й використовується в окремих випадках,

але, як правило, призводять до деяких помилок, пов'язаних з нерівномірністю розподілення властивостей сталі за перерізом, що викликана умовами гарячого прокатування, наступної термообробки чи деформування сталі при виготовленні зразків.

Випробування арматурної сталі на розтягування проводять на серійних універсальних машинах вітчизняного і закордонного виробництва МР – 100, МР – 500, МР – 1000, Шоппер – 20, Амслер – 50 і інших з граничними зусиллями не менше, ніж 1,25 від можливого розривного зусилля арматури [31, 55, 58, 77, 99].

Для визначення характеристик опору сталі пластичним деформаціям $\sigma_{0,05}$; $\sigma_{0,2}$; $\sigma_{0,5}$ і початкового модуля пружності E_S, а також побудови діаграми розтягування поздовжньої деформації арматури вимірювання проводять за двома діаметрально протилежними твірними за допомогою індикаторних чи важільних тензометрів.

Найбільше розповсюдження на практиці отримали важільно-індикаторні тензометри МК-3 «Шоппер», індикаторні тензометри НДІЗБ і важільно-стрілочні тензометри типу Окхайцена – Гугенбергера [52].

Для забезпечення необхідної точності вимірювань відносна ціна поділки шкали тензометра не повинна перевищувати 0,005% його бази для визначення $\sigma_{0,02}$, $\sigma_{0,05}$ і E_S, й 0,05% при визначенні $\sigma_{0,2}$ і $\sigma_{0,5}$ і інших, що характеризуються більшими допусками на величину залишкової чи пластичної деформації.

При роботі з індикаторними тензометрами база вимірювань складає, як правило, 100 чи 200 мм, а при використанні важільних тензометрів – 20 мм.

Сучасні випробувальні машини звичайно обладнують механічними чи електронними приладами, що дозволяють автоматично вимірювати поздовжні деформації арматури з необхідною точністю, що суттєво спрощує визначення механічних властивостей сталі. При цьому вимірювання можуть проводити, як на базі приладу, так і на базі всього зразка від одного затискача до другого.

При випробуванні зразок закріплюють в захватах машини і прикладають до нього навантаження, що дорівнює 3–5% очікуваного розривного зусилля. При такому навантаженні на зразок встановлюють прилад для вимірювання деформації. Базу вимірювання контролюють з гранично допустимою похибкою не більше ±0,5%. Далі навантаження прикладають рівними чи пропорційними етапами, але так, щоб до зусилля, яке відповідає шуканому, було не менше 8–10 етапів навантаження. При наближенні до навантаження, що відповідає границі пружності σ_{el} чи $\sigma_{0,02}$, зусилля на етапі, як правило, зменшують вдвічі.

Витримування на кожному етапі, необхідне для зняття показників за тензометрами, складає звичайно 5–10 с.

За результатами випробувань значення шуканих характеристик визначають графічними чи аналітичними методами у відповідності з вимогами ГОСТ 12004 [73].

Регламентована ГОСТ 12004 методика дозволяє визначити такі механічні властивості:

– повне відносне подовження при максимальному навантаженні;
– відносне подовження після розривання;
– відносне рівномірне подовження після розривання;
– відносне звужування після розривання;
– тимчасовий опір;
– границю текучості (фізичну);
– границі текучості і пружності (умовні);

Повна довжина зразка підбирається в залежності від робочої довжини зразка і конструкції захватів випробувальної машини.

При розрахунку довжини, враховують, що робоча довжина повинна складати:

– для зразків з $d_н$ до 20 мм включно – не менше 200 мм;
– для зразків з $d_н$ більше 20 мм – не менше 10 d;
– для арматурних канатів – не менше 350 мм.

Для визначення умовної границі пружності і текучості використовують тензометри, які закріплюють на зразок, що випробовують, після прикладання початкового навантаження (0,05–0,1 від очікуваного $\sigma_в$).

Зразки перед випробуванням розмічають на рівні частини. Відстань між мітками дорівнює: 10 мм – для зразків номінальних діаметрів менше 10 мм; для діаметрів 10 мм і більше – рівною $d_н$, і кратною 10.

Після розриву, для визначення відносного подовження, дві половинки зразка ретельно складають.

Відносне подовження після розривання стержньової арматури, δ, вимірюють на базі 5d симетрично відносно місця розриву і підраховують за формулою (8.1):

$$\delta = \frac{l_к - l_0}{l_0} \cdot 100, \%, \qquad (8.1)$$

де l_0 – початкова розрахункова довжина, мм; $l_к$ – кінцева, розрахункова довжина, яку вимірюють після розриву, на ділянці, що включає місце розриву, мм.

Схема для розрахунку кінцевої розрахункової довжини наведена на рис. 8.1.

Для дроту малих діаметрів – 3–6 мм вимірювання відносного подовження після розривання на базі 5d пов'язано з великими похибками, тому що фактична база вимірювання дуже мала. Тому для такої арматури

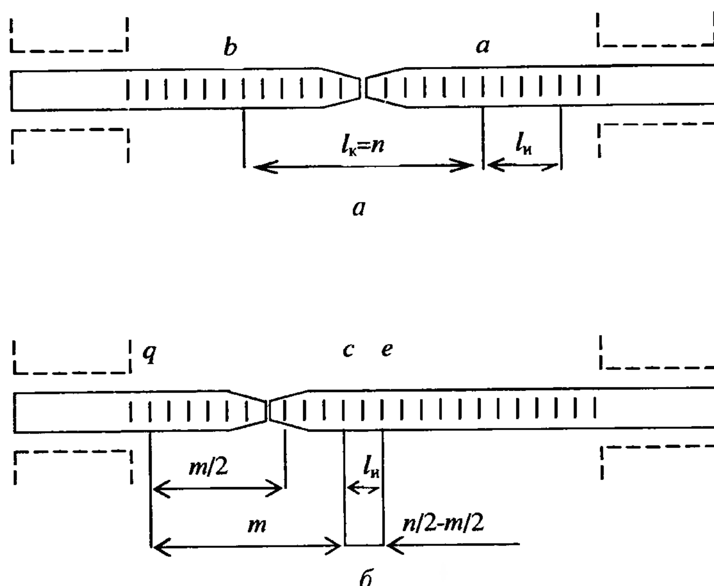


Рис. 8.1. **Схема для розрахунку кінцевої розрахункової довжини:**
а – місце розриву поблизу середини зразка; *б* – місце розриву ближче до краю захвата машини

відносне подовження в місці розриву прийнято вимірювати на єдиній базі, яка дорівнює 100 мм.

При випробуванні високоміцного дроту і арматурних канатів вимірюють відносне подовження перед розриванням, $\delta_n(A_{gt})$, на базі тензометра чи іншій базі вимірювання при навантаженні не менше 0,95 від зусилля розривання.

Відносне рівномірне подовження, δ_p, визначають в усіх випадках на ділянці, що дорівнює 50 чи 100 мм, і визначають за формулою (8.2):

$$\delta_p = \frac{l_u - l_0}{l_0} \cdot 100,\ \%, \qquad (8.2)$$

де l_0 – початкова розрахункова довжина, мм; l_u – кінцева, розрахункова довжина, що не вміщує місце розриву і вимірюється на відстані 3d–5d (30 чи 50 мм при $d_н < 10$ мм) від місця руйнування, мм.

Повне відносне подовження при максимальному навантаженні, δ_{max}, визначають за допомогою тензометрів або підраховують за формулою (8.3):

$$\delta_{max} = \delta_p + \frac{\sigma_в}{E_н} \cdot 100,\ \%, \qquad (8.3)$$

де $\sigma_в$ – тимчасовий опір, МПа; $E_н$ – початковий модуль пружності, МПа.

Тимчасовий опір – $\sigma_в$, визначають за формулою (8.4):

$$\sigma_в = \frac{P_{max}}{F_0}, \text{ МПа}, \qquad (8.4)$$

де P_{max} – максимальне навантаження при руйнуванні, Н; F_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка, мм^2, яка розраховується за формулою (8.5):

$$F_0 = \frac{m}{\rho l}, \text{ мм}^2, \qquad (8.5)$$

де m – маса зразка, г; l – довжина зразка, мм; ρ – густина сталі, 7850 г/мм^3.

Границю текучості – $\sigma_т$, МПа, знаходять з рівняння (8.6):

$$\sigma_т = \frac{P_т}{F_0}, \text{ МПа}. \qquad (8.6)$$

Умовну границю текучості – $\sigma_{0,2}$, розраховують за формулою (8.7):

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \text{ МПа}, \qquad (8.7)$$

де $P_{0,2}$ – навантаження при якому буде забезпечена рівність (8.8):

$$\Delta l = \Sigma \Delta l_у + \Delta l_т, \text{ мм}, \qquad (8.8)$$

де Δl – абсолютне подовження, мм; $\Delta l_т$ – величина залишкової деформації, яка дорівнює 0,2% бази тензометра, мм; $\Delta l_у$ – середня величина пружної деформації на одному етапі навантаження, мм.

Умовну границю пружності визначають за формулою (8.9):

$$\sigma_{0,02} = \frac{P_{0,02}}{F_0}, \text{ МПа}, \qquad (8.9)$$

де $P_{0,02}$ – навантаження, Н, яке відповідає подовженню Δl, що знаходять з рівняння (8.10):

$$\Delta l = \Sigma \Delta l_у + \Delta l_{зал}, \text{ мм}, \qquad (8.10)$$

де $\Delta l_{зал}$ – залишкова деформація, яка для $\sigma_{0,2}$ дорівнює 0,02% бази тензометра.

Початковий модуль пружності дорівнює відношенню приросту напруження в інтервалі від 0,1 до 0,35 P_{max} до відносного подовження зразка в тому ж інтервалі навантаження. Початковий модуль пружності – E_S, визначають за формулою (8.11):

$$E_S = \frac{(P_{0,35} - P_{0,1}) l_0}{(\Delta l_{0,35} - \Delta l_{0,1}) F_0}, \text{ МПа}. \qquad (8.11)$$

Випробування на згинання. Випробування на згинання виконують згідно з методикою, викладеною в ГОСТ 14019 [23]. Випробування на згинання слугує для визначення здатності металу витримувати задану

пластичну деформацію, яка характеризується кутом загину, чи для оцінки граничної пластичності металу при згинанні, що характеризують кутом вигину до утворення першої тріщини.

При випробуванні зразок встановлюють на опори і вигинають за допомогою оправки до заданого кута (рис. 8.2). Зразок випробовують на згинання зосередженим навантаженням в середині прогону між опорами, кут загину вимірюють без зняття навантаження.

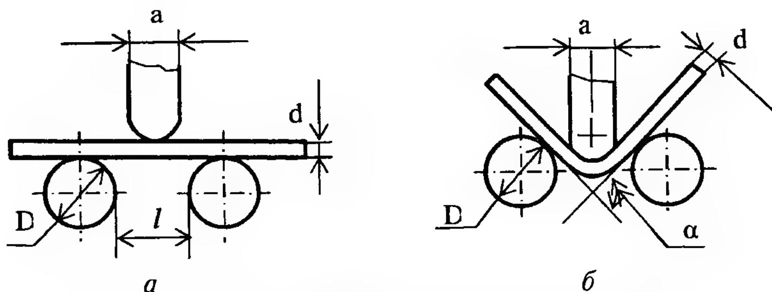


Рис. 8.2. **Схема випробування зразків на згинання:**
а – до випробування; *б* – після випробування

Довжину зразка визначають в залежності від діаметра зразка і оправки. Орієнтовну довжину зразка в міліметрах визначають за формулою (8.12):

$$L = 2(a + d) + (100 \div 150), \text{ мм}, \qquad (8.12)$$

де d – діаметр зразка, мм; a – товщина оправки, мм.

Товщину оправки приймають рівною двом діаметрам зразка, що випробовується. Радіус закругленої частини оправки приймають рівною половині її товщини.

Відстань між твірними опор – l, приймають рівною а + 2,5d з округленням до 1 мм в більший бік.

Випробування дроту на перегинання (згинання з розгинанням). Випробування дроту на перегинання проводять згідно методики, викладеної в ГОСТ 1579 [21], яка поширюється на випробування дроту розміром від 0,5 до 10,0 мм.

Схема приладу для проведення випробувань наведена на рис. 8.3, параметри приладу підбирають в залежності від діаметра дроту, який випробовують, відповідно до вимог ГОСТ 1579.

Випробування на перегинання повинно проводитись з частотою, що не перевищує:

60 хв$^{-1}$ – для дроту діаметром 5 мм і менше;

30 хв$^{-1}$ – для дроту діаметром більше 5 мм.

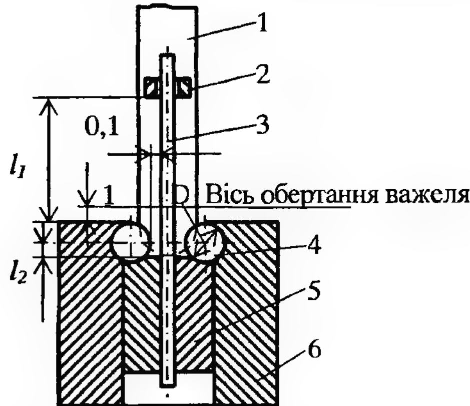


Рис. 8.3. **Схема приладу для випробування дроту на перегинання:**
1 – згинаючий важіль; 2 – поводок; 3 – зразок; 4 – валик; 5 – затискна губка; 6 – затискачі
l_1 – відстань від нижньої поверхні повідка до верхньої твірної валків; l_2 – відстань від верхньої поверхні губок до лінії, що поєднує центри валків; D – діаметр валків

Спочатку загинають зразок вправо чи вліво на 90°, друге загинання зразка на 180° в протилежний бік, трете – загинання зразка на 180° в бік протилежний попередньому перегину, і так далі до руйнування зразка чи до заданого числа перегинань, що встановлені технічними вимогами на дріт. Останнє перегинання, при якому відбулось руйнування зразка, в розрахунок не приймають.

Вважається, що зразок витримав випробування, якщо він не зруйнувався при числі згинань, заданому в нормативно-технічній документації на дріт.

8.2. Контроль якості зварних арматурних виробів

8.2.1. Візуальний контроль і вимірювання

Арматурні і закладні вироби, зварні з'єднання арматури і закладних виробів повинні бути прийняті на місці їх виготовлення відділом технічного контролю підприємства-виробника чи будівельно-монтажної організації за результатами візуального огляду, вимірювань, механічних випробувань у відповідності з вимогами діючих нормативних документів [72, 103]. Допускається приймання виробів на складі заводу чи арматурного цеху будівництва.

Приймання готових арматурних і закладних виробів і зварних з'єднань арматури і закладних виробів здійснюють партіями.

Партія складається з виробів одного типорозміру (одної марки), виготовлених за однією технологією одним зварником. Партію групують згідно ГОСТ 10922 [72].

Коли арматурні вироби виготовлюють і використовують на одному підприємстві, в одну партію допускається включати різні вироби, виконані одним зварником.

Обсяг партії зварних арматурних виробів не повинний перевищувати числа виробів, виготовлених протягом одної зміни. При виготовленні виробів з автоматизацією процесу зварювання, допускається збільшувати обсяг партії до числа виробів, що виготовлені протягом двох змін. Обсяг партії зварних з'єднань не повинний перевищувати 200 з'єднань.

Відповідність зварних виробів, а також зварних з'єднань вимогам нормативних документів встановлюють за результатами вибіркового контролю, тобто шляхом випадкового відбору.

В кожному відібраному арматурному виробі перевіряють:

– клас, діаметр і марку арматурної сталі за даними документу про якість, а при його відсутності – за результатами лабораторних випробувань арматурної сталі;

– довжину окремих стержнів, відстані між крайніми стержнями по ширині, довжині чи висоті виробу, довжину випусків стержнів у виробі, а також відстані між двома сусідніми поздовжніми стержнями в арматурних каркасах;

– всі зварні з'єднання, виконані дуговим й контактно-стиковим зварюванням, й не менше п'яти з'єднань, виконаних контактно-точковим зварюванням.

В кожному відібраному закладному виробі перевіряють:

– марку сталі плоских елементів, клас і діаметр анкерних стержнів за даними документа про якість, а при його відсутності – за результатами лабораторних випробувань сталі;

– відхилення від площинності лицьових поверхонь виробів;

– лінійні розміри плоских елементів, розташування і довжину анкерних стержнів;

– відстані між зовнішніми площинами у виробах закритого типу;

– стан кромок плоских елементів і розмір кутів між плоскими елементами і анкерними стержнями;

– всі зварні з'єднання.

Методи випробувань і вимірювань вибирають відповідно до діючих норм.

Розміри арматурних зварних виробів і зварних з'єднань перевіряють вимірювальними рулетками, вимірювальними лінійками, штангенциркулями, з похибкою до 1,0 мм.

Відстані між парою стержнів вимірюють в світлі в трьох точках (в кінцях і в середній частині). Номінальну відстань між стержнями визначають як суму відстаней між ними в світлі і півсум номінальних діаметрів цих стержнів.

Відхилення від лінійних розмірів випусків стержнів в арматурних виробах перевіряють вимірюванням найбільшої і найменшої відстані від торців стержнів до найближчої точки на поверхні стержня іншого напрямку.

Відхилення від номінальної відстані між зовнішніми поверхнями плоских елементів закладних виробів закритого типу перевіряють в чотирьох точках по кутах плоских елементів.

Відхилення від площинності зовнішніх лицьових поверхонь плоских елементів закладних виробів перевіряють шляхом вимірювання найбільшої відстані від точок реальної поверхні до прилеглої площини.

Відхилення від перпендикулярності анкерних стержнів перевіряють шляхом вимірювання найбільшого зазору між ребром поворотного кутика 90°, встановленого на плоский елемент закладного виробу і до найближчої точки на поверхні стержня.

Відхилення від соосності, перелам осей стержня арматури в стикових з'єднаннях, а також відхилення від створності накладок з стержнів, і стержнів, що стикуються, визначають за допомогою металевої рейки і вимірювальної лінійки.

Відхилення розмірів арматурних виробів від проектних не повинні перевищувати величин, зазначеним в додатку Д. Відхилення розмірів і параметрів закладних деталей від проектних не повинні перевищувати величин, вказаних в додатку Ж.

Поверхні закладних виробів повинні бути без іржі і окалини, слідів бітуму, олій і інших забруднень.

Контроль зварних з'єднань арматури здійснюють зовнішнім оглядом, з лупою 5–10 кратного збільшення. Виявляють, насамперед, дефекти швів, які можна помітити зовні у вигляді тріщин, підрізів, каверн, свищів, пропалів, напливів і непроварів у нижній частині шва. Шви також вистукують молотком, при вистукуванні не повинно бути деренчливих звуків. Дефекти, виявлені на слух під час простукування, перевіряють.

Основні дефекти зварних швів такі:

– не проварювання, що є наслідком неправильного режиму зварювання;

– пористість, яка виникає в результаті насичення металу газами, окислами, шлаками;

– тріщини в наплавленому та основному металі, які утворюються внаслідок виникнення внутрішніх напружень у процесі зварювання;

тріщини виникають також при неправильному виконанні зварювання, великій кількості наплавленого металу тощо;

– перепал, який виникає внаслідок окислення при занадто великій електричній дузі.

Дефекти зварювання мають бути виявлені і усунені [85]. Вибір способу контролю зварних швів залежить від характеру конструкції. Контроль має здійснюватись відповідно до вимог діючого стандарту – ГОСТ 10922.

Приховані дефекти виявляють за допомогою ультразвукового методу (ультрозвукова дефектоскопія), просвічуванням місця зварювання рентгенівським промінням (радіаційна дефектоскопія), а також перевіряючи їх магнітними методами дослідження (магнітна або віхрострумова дефектоскопія). Ці методи останніми роками набули досить широкого застосування і ними користуються для контролю зварних з'єднань на будівництві. Для контролю зварних з'єднань в умовах будівельно-монтажного майданчика раціонально використовувати гаммографію.

У залежності від виду випромінювання, при використанні методу радіаційної дефектоскопії, розрізняють ренгено-, гамма- і бетатронну радіографію [17]. Схема просвічування зварного з'єднання наведена на рис. 8.4 *а*. При контролі з одного боку зварного шва встановлюють джерело випромінювання, а з іншого – ренгенографічну плівку.

Ультрозвукова дефефектоскопія побудована на властивості високочастотних пружних коливань спрямовано розповсюджуватись крізь контрольоване середовище і відбиватися від меж розділення середовища або порушеної цілісності (дефектів), що мають інший акустичний опір (рис. 8.4 *б*). Для контролю зварних з'єднань використовують ультразвукові дефектоскопи УД-11ПУ, УД-10П, УДЦ-100, УДЦ-105М та інші [17].

Магнітографічні способи контролю базуються на виявлені потоків розсіювання, що виникають при наявності різних дефектів у намагнічених виробах із ферамагнітного матеріалу. Для дефектоскопії зварних з'єднань рекомендовано використовувати переносні дефектоскопи ПМД-70, МД-9, МД-11, МД-2У, МД-10ИМ, МГК-1 [17].

Якшо в результаті огляду і вимірювань хоча б один виріб чи одне з'єднання не буде відповідати вимогам нормативних документів, то проводять повторну перевірку подвоєної кількості виробів. Якщо при повторній перевірці хоча б один виріб чи з'єднання не буде відповідати вимогам нормативних документів, то всі вироби цієї партії підлягають поштучному прийманню і виправленню.

Вузли, що не підлягають зварюванню, повинні бути зазначені в проекті.

Результати візуального огляду і вимірювання оформляють актом.

Міцність зварних з'єднань перевіряють випробуванням відібраних зразків.

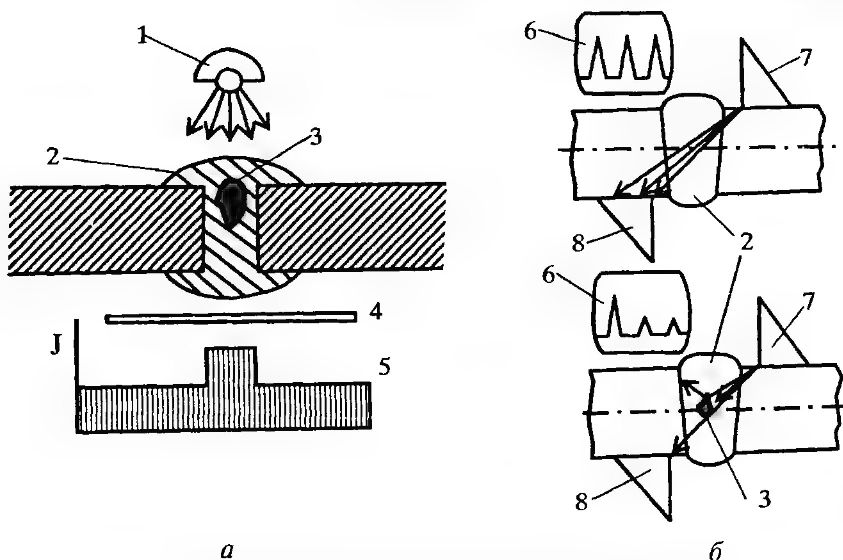


Рис. 8.4. **Схеми контролю якості зварних швів:**
а – схема просвічування звареного з'єднання (радіаційна дефектоскопія); *б* – ультразвуковий контроль зварних швів (ультразвукова дефектоскопія);
1 – джерело випромінювання; 2 – з'єднання, що контролюється; 3 – дефектне місце; 4 – детектор; 5 – графік інтенсивності випромінювання, яке пройшло крізь контрольоване з'єднання; 6 – форма сигналу на екрані вторинного приладу; 7 – випромінювач; 8 – приймач

8.2.2. Механічні випробування

Механічні випробування контрольних зразків зварних з'єднань проводять з використанням розривних машин різних систем. Для проведення механічних випробувань від партії відбирають три контрольні зразки.

В залежності від арматурних виробів і способів зварювання, зразки вирізаються з готових виробів (допускається це робити з одного виробу), чи виготовляють спеціально в довільній момент часу разом з іншими виробами не змінюючи режимів і матеріалів.

Випробування на розтягування. Випробуванню на розтягування підлягають стикові, таврові і напускні зварні з'єднання арматури, а також хрестоподібні з'єднання стержньової арматури з міцністю, що нормується.

Відстані між захватами розривної машини при випробуванні на розтягування зразків стикових з'єднань залежить від діаметра стержнів і складають:

– при $d_н$ до 25 мм – не менше 20 діаметрів стержня більшого діаметра;
– при $d_н$ до 25 мм – не менше 10 діаметрів стержня більшого діаметра.

Міцність стикових з'єднань арматурних стержнів і з'єднань стержнів з елементами закладних деталей – $P_к$ при випробуванні на розтягування, відривання і зрізування повинна бути не менше величини, що розраховується за формулою (8.13):

$$P_к = F_a \cdot \sigma, \text{ Н}, \tag{8.13}$$

де F_a – номінальна площа перерізу стержня, при різних діаметрах – меншого, мм^2; σ – тимчасовий опір розриву арматурної сталі (границя міцності), МПа (Н/мм^2).

Залежно від способу зварювання допускається коливання значення $P_к$.

За результатами випробувань визначають:

– границю міцності стержнів, по осі яких діяло руйнівне навантаження (σ_1, σ_2, σ_3);

– розмах значень границі міцності за формулою (8.14):

$$R = \sigma_{max} - \sigma_{min}, \text{ МПа}, \tag{8.14}$$

де σ_{max} і σ_{min} – значення границі міцності з значень σ_1, σ_2, σ_3;

– середнє арифметичне значення границі міцності, $\bar{\sigma}$, визначають за формулою (8.15):

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}, \text{ МПа}; \tag{8.15}$$

– зменшення вихідного діаметра – Δ, %, одного з стержнів що зварюється, в місці розриву за формулою (8.16):

$$\Delta = \frac{d_1^2 - d_2^2}{d_1^2} \cdot 100, \%, \tag{8.16}$$

де d_1 – вихідний діаметр стержня до зварювання, мм^2; d_2 – діаметр стержня в місці розриву стержня, мм^2.

Партія підлягає прийманню при забезпеченні таких умов:

– $R \le 118$ МПа;

– $\sigma \ge C$, де C – середнє значення границі міцності, яке підбирається за ГОСТ 10922 в залежності від розмаху значень границі міцності і класу арматурної сталі;

– $\Delta \ge 20\%$.

При порушенні першої умови – партію бракують, випуск продукції припиняють, а технологію зварювання доводять до необхідної стабільності.

При порушенні другої чи третьої умови, проводять повторну вибірку зразків в кількості 6 шт. і випробування. Якщо при повторних випробуваннях хоча б одна з умов не буде виконана, партію бракують.

Випробування зварних таврових з'єднань в закладних деталях на відривання стержня від плоского елемента проводять за схемою, наведеною на рис. 8.5 *а*. Схема випробування напускних з'єднань стержнів з плоскими елементами закладних деталей наведена на рис. 8.5 *б*.

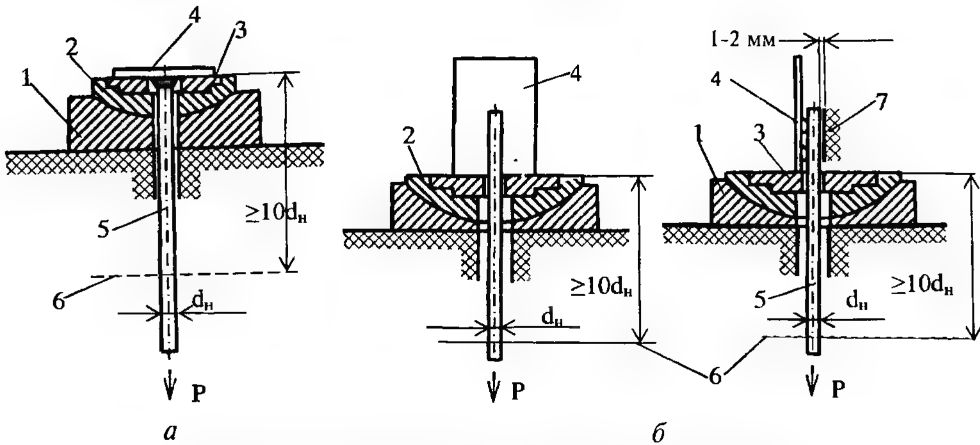


Рис. 8.5. **Схема випробування з'єднань анкерних стержнів закладних виробів на відривання:**

а – таврових; *б* – напускних;
1 – сферична опора; 2 – сферичний вкладиш; 3 – змінне опірне кільце; 4 – плоский елемент закладного виробу; 5 – анкерний стержень; 6 – границя закріплення в захвати розривної машини; 7 – упор, що запобігає вигинанню зразка;
$d_н$ – номінальний діаметр анкерного стержня; P – випробувальне навантаження

Випробування на зрізування. Контрольні зразки хрестоподібних з'єднань, які підлягають випробуванням на зрізування, повинні мати форму і розміри, наведені на рис. 8.6. Розміри підбирають залежно від номінального діаметра стержня за вимогою діючого стандарту [72].

Зразки випробують на розривних машинах за схемами, наведеними на рис. 8.7. За схемою рис. 8.6 *а* повинно бути забезпечено міцне закріплення стержня діаметром $D_н$, яке б виключало можливість його повороту навколо своєї осі.

Міцність хрестоподібних з'єднань арматури, виконаних контактноточковим зварюванням при випробуванні на зрізування визначають за формулою (8.17):

$$P_k = F_a R_a K, \text{ Н}, \tag{8.17}$$

де F_a – площа поперечного перерізу стержня, мм^2, до якого прикладене навантаження; R_a – нормативне навантаження на стержень, МПа (Н/мм^2); K – коефіцієнт, для А-I(А240) та А-II(А300) – 1,5; для А-III(А400) – 1,25; для дроту – 1.

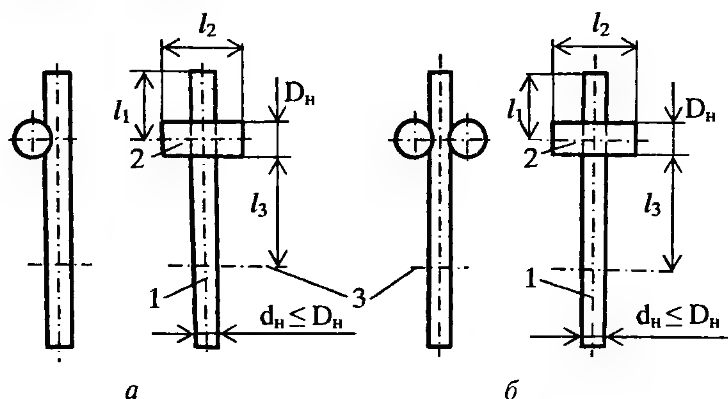


Рис. 8.6. **Форма і розміри зразків для випробування хрестоподібних з'єднань на зрізування:**
а – однозрізне з'єднання; *б* – двозрізне з'єднання;
1, 2 – арматурні стержні; 3 – границя закріплення в захваті розривної машини;
l_1, l_2, l_3 – підбирають залежно від номінального діаметра стержнів

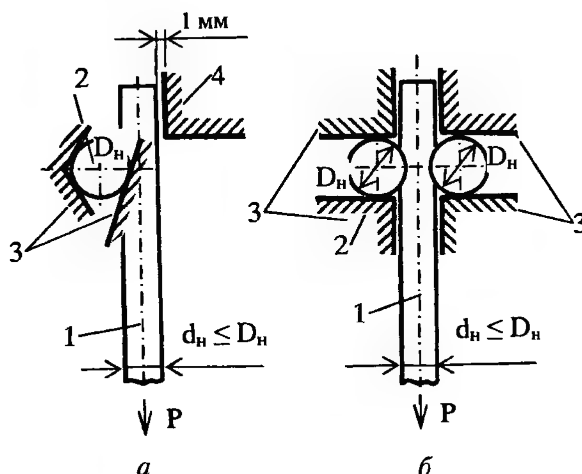


Рис. 8.7. **Схема випробувань хрестоподібних з'єднань на зрізування:**
а – однозрізне з'єднання; *б* – двозрізне з'єднання;
1, 2 – арматурні стержні; 3 – затискачі; 4 – упор, що запобігає відгинанню кінця стержня;
Р – випробувальне навантаження

За результатами механічних випробувань на зрізування, незалежно від характеру і місця руйнування зразків, визначають:

– руйнівне навантаження для кожного зразка P_1, P_2, P_3;

– мінімальне значення руйнівного навантаження P_{min} з P_1, P_2, P_3.

Партія продукції за результатами випробування хрестоподібних з'єднань на зрізування підлягає прийманню, якщо забезпечується виконання рівняння (8.18):

$$P_{min} \geq P_{ср}, \quad (8.18)$$

де $P_{ср}$ – приймають за діючою нормативною документацією, залежно від діаметра.

При порушенні цієї умови проводять повторну вибірку подвоєної кількості контрольних зразків (6 шт.) і випробування. Результати повторних випробувань є остаточними і якщо умова не виконується, то партію бракують.

Випробування на знеміцнення арматурної сталі контактно-точковим чи дуговим зварюванням прихватками. Для перевірки величини знеміцнення основного металу робочої арматури відбирають зразки хрестоподібних з'єднань, які повинні мати форму і розміри, вказані на рис. 8.7.

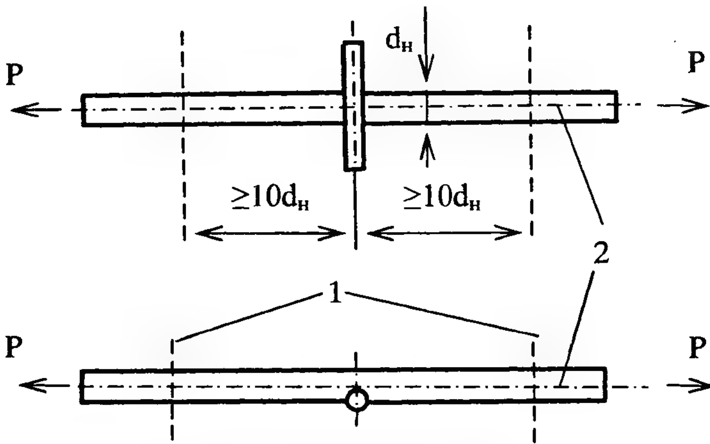


Рис. 8.7. **Схема і розміри зразків для випробування робочої арматури на втрату міцності зварюванням:**
1 – границя закріплення в захватах розривної машини; 2 – стержень робочої арматури; $d_н$ – номінальний діаметр робочої арматури; P – випробувальне навантаження

При випробуванні повинні бути визначені і підраховані наступні показники:

– розривне зусилля для дроту Вр-I – P_1, P_2, P_3, Н;

– P_{min} – мінімальне значення розривного зусилля з числа P_1, P_2, P_3, Н;

– границя міцності для гарячекатаної чи термомеханічно зміцненої арматурної сталі σ_1, σ_2, σ_3, МПа;

– σ_{min} – мінімальне значення межі міцності з числа σ_1, σ_2, σ_3, МПа.

Партію арматурних виробів за результатами випробувань приймають, якшо забезпечується умова (8.19):

$$P_{min} \geq P_p \text{ або } P_{min} \geq \sigma_в, \quad (8.19)$$

де P_p і $\sigma_в$ – визначається згідно ГОСТ 10922 [72].

При порушенні умов проводять повторну вибірку зразків в кількості 6 шт., якщо в результаті повторних випробувань вказані умови не забезпечується, партію бракують.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. Назвіть дефекти поверхні, при наявності яких партія арматурної сталі бракується.

2. В яких випадках проводять контрольні випробування механічних властивостей арматурної сталі?

3. Як розраховують відносне подовження після розривання і відносне рівномірне подовження при випробуванні зразків арматурних сталей на розтягування?

4. Для чого проводять випробування на згинання і які показники характеризують результати випробувань?

5. Як проводять випробування дроту на перегинання?

6. Назвіть параметри які перевіряють в зварних арматурних виробах для встановлення відповідності їх вимогами нормативних документів.

7. Які зварні з'єднання арматури підлягають випробуванню на розтягування? При яких умовах партія зварних арматурних виробів чи зварних з'єднань підлягає прийманню?

8. Назвіть основні дефекти зварних швів.

РОЗДІЛ 9

НЕМЕТАЛЕВА АРМАТУРА

9.1. Види неметалевої арматури. Класифікація

Потреба капітального будівництва в неметалевій арматурі виникла в середині XX сторіччя в зв'язку з такими обставинами: розширення застосування армованих бетонних конструкцій відповідальних споруд, що експлуатуються у дуже агресивних середовищах для сталевої арматури; необхідність забезпечення антимагнітних і діелектричних властивостей деяких виробів і споруд; обмежені запаси руд, придатних для переробки для одержання сталі і легуючих добавок.

Неметалеву арматуру умовно поділяють на дві групи: арматурні волокна (в тому числі фібра) і арматурні стержні.

Як і в традиційно армованих структурах, зміцнення волокнами ґрунтується на припущенні, що матеріал бетонної матриці передає волокнам прикладене навантаження за рахунок дотичних сил, які діють по поверхні розподілу. Якщо модуль пружності волокна більше модуля пружності матриці, то основну долю прикладених напружень сприймають волокна, а загальна міцність композиції пропорційна їх об'єму [89]. Тобто, армуючі волокна підвищують міцність бетонної матриці за рахунок того, що відрізняються за своїм складом від матеріалу матриці і здатні у процесі роботи композиції сприймати більш високі, в порівнянні з матрицею, розтягуючи напруження. Отриманий ефект зміцнення значною мірою залежить від виду волокон, що використовуються, характеру їх зчеплення і орієнтації в об'ємі бетону, хімічною стійкістю, по відношенню до продуктів гідратації цементних в'яжучих, і їх кількості.

Номенклатура волокон дуже велика: органічні природного і штучного походження, мінеральні, вуглецеві і т. д. Характеристика найбільш розповсюджених видів неметалевої арматури наведена в табл. 9.1.

За значенням модуля пружності волокна поділяють на два типи [88, 89]: низькомодульні (нейлонові, поліетиленові, поліпропіленові) з характерним для них великим відносним подовженням при розриванні і високомодульні (скляні, вуглецеві). В першому випадку при армуванні слід очікувати, в основному, підвищення ударної в'язкості бетону, в другому – може бути досягнуто також збільшення міцності бетону при розтягуванні, жорсткості і опору динамічним навантаженням.

Таблиця 9.1

Основні характеристики неметалевої арматури

Вид арматури	Діаметр, мм	Міцність при розриванні, МПа	Модуль пружності, МПа
Скловолокно	0,01	1000	80000
Склопластикові джгути	3–12	1200–1600	52000
Базальтові волокна	0,08–4,00	200–80	100000
Азбест	0,0001	800	80000
Поліпропілен	0,01	400	8000
Нейлон	0,02	800	4200

Класифікацію арматурних волокон зображено на рис. 9.1.

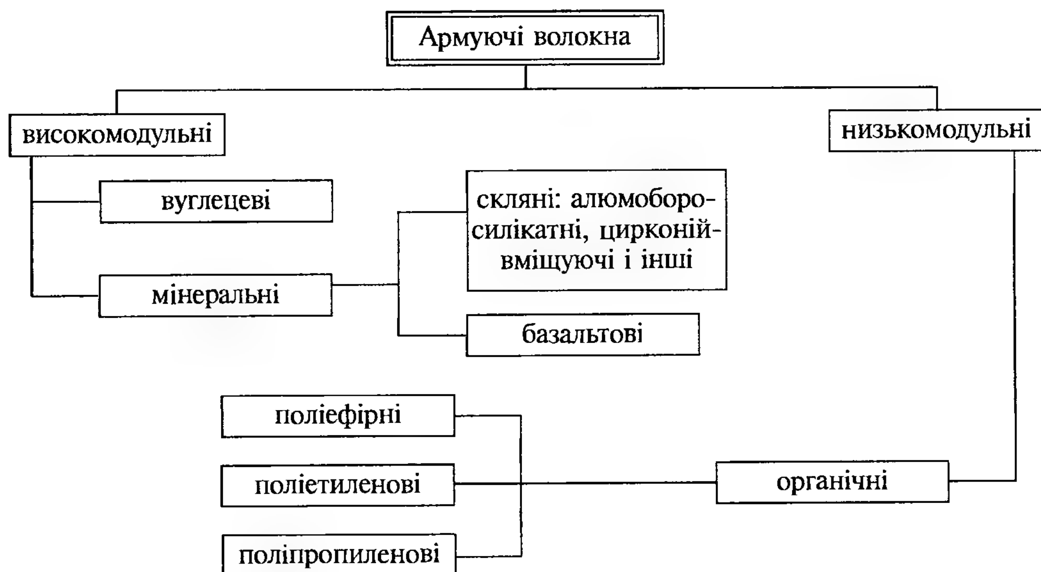


Рис. 9.1. **Класифікація арматурних волокон**

Неметалеві армувальні волокна використовують у вигляді безперервних ниток або коротких відрізків волокон – фібр.

На основі безперервних ниток отримують такі одно- і багатониткові рулонні матеріали:

– нитки, джгути, струни, штапельне волокно;
– тканні і нетканні сітки, розріджені тканини;
– полотна, вуалі, мати, фіброкаркаси.

Дисперсну арматуру, у вигляді коротких відрізків, поділяють за формою поперечного перерізу і загальним виглядом на: круглі гладкі, з періодичними вм'ятинами, з відгинами і без них; квадратної, прямокутної, ромбовидної і інших форм поперечного перерізу.

Методами дисперсного армування передбачається можливість отримання направленої і довільної (вільної) орієнтації волокон в об'ємі бетону. Направлена орієнтація реалізується при використанні безперервних ниток, джгутів, різного роду тканих і нетканих сіток, розріджених тканин і інших аналогічних матеріалів.

Довільна орієнтація здійснюється, як правило, короткими волокнами, однак в цьому випадку можуть використовуватись і рулонні матеріали у вигляді полотен, матів і вуалей, в яких волокна не мають організованого переплетення.

Площинно-довільна орієнтація характеризується рівномовірним і необмеженим (вільним і хаотичним) розподілом волокон в площині (двовимірному просторі). Дисперсне армування в цьому випадку реалізується, головним чином, в тонкостінних виробах і елементах, що мають криволінійну форму.

Об'ємно-довільна орієнтація характеризується рівномірним і необмеженим розподілом коротких армуючих волокон в усьому об'ємі бетону. Кути нахилу волокон по відношенню до поверхні виробів від 0 до 90°, розміри виробів в усіх напрямах значно перевищують довжину волокон.

Стиснено-довільна орієнтація має місце, коли, що найменше, два геометричні параметри елементів конструкцій, наприклад висота і ширина, обмежені в розмірах, що заважає вільній орієнтації армуючих волокон в об'ємі бетону. Чим менші розміри поперечного перерізу виробів, тим більше обмежені можливості вільної орієнтації армуючих волокон.

За своїм характером дисперсне армування може здійснюватись одним видом волокон чи сумішшю різних фібр (різної довжини і різного складу).

За розподілом волокон в бетоні чи композиційному матеріалі та їх поєднанням (комбінацією) розрізняють:

- безперервне армування;
- зонне (місцеве) армування;
- комбіноване армування безперервними і короткими волокнами;
- комбінація волокон різної довжини;
- поєднання волокон різних діаметрів;
- поєднання низько і високомодульних волокон.

При поєднанні безперервного тонкого волокна за допомогою синтетичних смол, таких як епоксидні, епоксидофенольні, поліефірні і інші, отримують монолітні стержні і дротини [43, 81], основою яких є скляне, базальтове, вуглецеве і арамідне волокно. До цих волокон пред'являється

вимога збереження міцності в лужному середовищі бетону і високий опір розтягненню.

Стержні, круглого і прямокутного перерізів, виготовляють шляхом сплетення джгутів з безперервних волокон з подальшим просоченням пластиком і тепловою обробкою. Для поліпшення зчеплення арматури з бетоном на стержні, перед їх термічною обробкою, намотується з зусиллям нитка, що створює на арматурі ребристу поверхню.

Дріт виготовляють шляхом складання великої кількості волокон, які з'єднуються між собою пластиком. З дроту змотують канати різної несучої здатності, що після сукання піддаються термічній обробці.

9.2. Органічні волокна

Органічні волокна природного походження. Спроби використовувати, для армування бетону, органічні волокна рослинного і тваринного походження відомі з давніх часів. Як армуючі елементи для бетонів можуть використовуватись деревні (целюлозні), сизалеві, бамбукові, кокосові, очеретяні, джутові і інші волокнисті матеріали. Волокна цього типу у конструкційному відношенні поступаються штучним волокнам. Через велике водопоглинання природних волокон при виготовленні бетонів суттєво підвищують водоцементне відношення для забезпечення необхідної рухливості, що в свою чергу, призводить до помітного зниження міцності матеріалу. Проблематичні також питання довговічності, армованих такими волокнами, бетонів і інших композиційних матеріалів.

До недавнього часу найпоширенішим армуючими волокнистими матеріалами для бетону були металеві (розділ 4), синтетичні і мінеральні волокна у вигляді безперервних ниток або у вигляді фібр.

Синтетичні волокна. Синтетичні волокна, такі як нейлонові, поліетиленові, поліпропіленові відносять до великого класу волокон органічного походження. Такі волокна в більшій мірі відповідають вимогам до арматури бетонних виробів.

Нейлонове волокно було першим синтетичним матеріалом, рекомендованим до армування бетону в конструкціях, які піддають, головним чином, дії динамічних навантажень [88, 89]. Але нейлонові волокна у вигляді елементарних ниток менше технологічні і дорожчі за поліпропіленові, що є однією з причин, яка стримує їх більш широке використання.

Об'ємні волокна з поліпропілену для армування бетонів були вперше використані в Англії [88, 89]. Волокна діаметром 0,02–0,038 мм отримували з плівки шляхом її поздовжнього розрізання, витягування і скручування. В бетонній суміші такі фібриловані волокна розкручуються, і цементне тісто проникає між чарунками гратчастої структури, яка утво-

рюється волокнами. Такі волокна мають надійне зчеплення з бетоном і дешевші ніж нейлоні.

Всі синтетичні волокна мають погану змочуваність, при цьому їх зчеплення з цементним каменем невелике і обумовлено, в основному, силами механічного заанкерування. Тому фібриловані волокна, включаючи волокна скручені в джгути, мають більш високій ступінь заанкерування в бетонній матриці. Композиція «бетон – синтетичне волокно» має більш високий опір при дії ударних навантажень у порівнянні з неармованим бетоном. При цьому армування бетону синтетичними волокнами не забезпечує підвищення міцності при статичних навантаженнях.

Значний інтерес викликає використання неметалевої арматури з синтетичних волокнистих матеріалів, які є відходами промислового виробництва. До них відносяться, наприклад, поліамідні волокна, які використовуються при отриманні шинного корда [87]. Промислові відходи кордових волокон (віскозних, капронових) дешевші поліетиленових, нейлонових і поліпропіленових. Кордові волокна довжиною від 5 до 25 мм діаметром 0,5–0,67 мм порівняно легко перемішуються з бетонною сумішшю і рівномірно розподіляються в її об'ємі. Оптимальна кількість відходів кордових волокон, що вводять в бетонну суміш, складає 0,6–1% за масою бетону. Деякі технічні характеристики волокон, що використовують при виготовленні шинного корду, наведено в табл. 9.2.

Таблиця 9.2

Технічна характеристика волокон, відходів виробництва шинного корду

Волокно	Кількість елементарних волокон в нитці	Розривне навантаження, Н	Подовження, %	Міцність при розтягуванні, МПа	Модуль Юнга, МПа
Поліамідне	140	130	24	720	1900
Віскозе сверхміцне	800–1000	165	14	660	5600

9.3. Мінеральні волокна

Розмаїття типів стекол обумовлює можливість отримання широкої номенклатури скляних волокон різного хімічного складу з великим діапазоном їх фізико-механічних і конструкційних властивостей. До стекол, як відомо, відносять і плавлений кварц, і різні оксидні сполуки – силікатні, фосфатні, боратні, свинцеві, а також системи, які не вміщують кисню, на основі з'єднань миш'яку, сурми з сіркою, селеном, телуром. До найбільш великої групи відносяться силікатне скло і отримані з них

скляні волокна: кварцові, алюмосилікатні, натрійкальцієвосилікатні, цирконійсилікатні і т. і. Опановується також виробництво шлакових волокон, волокон, які отримують з плавлених гірських порід (в тому числі з базальту).

Властивості скловолокна залежать від багатьох факторів, в тому числі від способів отримання і хімічного складу скла. За своїм хімічним складом промислове скло і скловолокна поділяють на дві групи: безлужні (вміст лужних оксидів – 1–2%) і лужні (вміст лужних оксидів – 1–15%).

У СРСР (Мінськ, Москва, Харків) в 60-х роках минулого століття була розроблена безперервна технологія виготовлення арматури діаметром 6 мм із лугостійкого скловолокна малоцирконієвого складу марки Щ-153Т. Фізико-механічні показники склопластикової арматури: тимчасовий опір розриву – до 1500 МПа; початковий модуль пружності – порядку 50000 МПа; щільність – 1,8–2,0 т/м^3 при ваговому вмісті скловолокна 80%; робоча діаграма арматури при розтяганні практично прямолінійно до розриву; граничні деформації до цього моменту досягають 2,5–3,0%; довготривала міцність арматури в нормальних температурно-вологих умовах складає 65% її тимчасового опору; коефіцієнт лінійного розширення (5,5–6,5) $\cdot 10^{-6}$. Широкого розповсюдження така арматура не знайшла, тому що вартість лугостійкої склопластикової арматури досить висока.

Зараз промислово виготовляють безперервне скляне волокно у вигляді одинарних ниток великої довжини (сотні і тисячі метрів) і штапельних – порівняно коротких відрізків (до 60 см) одинарних волокон. Безперервне скловолокно діаметром від 3 до 100 мкм отримують шляхом їх витягування з розплавленої скломаси на спеціальних установках з склоплавильних сосудів з філь'єрами в днищі. Після витягування елементарні склонитки складають в жмут – первинну нитку. Первинні нитки в 20, 40 і 60 складень намотують на бабіну. Безперервне скловолокно використовують для переробки в ровінг (джгут), а також для отримання тканих чи нетканих рулонних матеріалів. Штапельне скловолокно діаметром до 20 мкм отримують шляхом вертикального витягування і роздування чи центрифугувально-фільєрно-дутьовим методом.

Як дисперсну арматуру для бетонних матриць можуть використовувати безперервні склонитки, які отримують з джгута, а також нарізані з нього короткі відрізки волокон, довжина яких встановлюється, в основному, в залежності від технологічних вимог. Можуть використовувати зрізи скловолокна, склохолсти, вуалі, неткані склосітки і інші подібні перероблені скломатеріали (рис. 9.2).

Основною причиною, яка стримує використання скляних волокон як армуючого матеріалу для бетонних матриць, є їх недостатньо висока стійкість до дії середовища гідратуючих портландських цементів і висока вар-



Рис. 9.2. **Скловолокнисті матеріали, які використовують як арматуру:**
а – склоджгут; *б* – неткані склосітки; *в* – склополотно; *г* – склозрізи; *д* – рублене волокно

тість. Вартість скляних волокон, як правило, вище вартості звичайної сталевої арматури, але густина скла приблизно в 3 рази нижча ніж сталі. В останні роки зусилля багатьох спеціалістів були спрямовані на дослідження лугостійкого скла і скловолокон, які здатні чинити опір хімічним впливам в тверднучому бетоні.

У Німеччині розроблена і вивчена склопластикова арматура діаметром 7,5 мм з алюмоборосиликатного скловолокна і поліефірної смоли за назвою «Полісталь». Арматура має наступні вихідні характеристики: короткочасна міцність при розтягуванні – 1650 МПа, модуль пружності – 51000 МПа, подовження при розриванні – 3,3%, довгострокова міцність – 1100 МПа, втрати напруги від релаксації – 3,2%, перепад напруги при 2×10^6 циклів навантажень – 55 МПа, коефіцієнт температурного розширення – $0,7 \times 10^{-6}$.

За останні роки наукові і виробничі організації в Росії освоїли виробництво неметалевих композитних елементів гнучких зв'язків. В основному, виробляються склопластикові і базальтопластикові гнучкі зв'язки й анкерні стержні.

Загальний вид композитної арматури, що виготовляється, наведено на рис. 9.3.

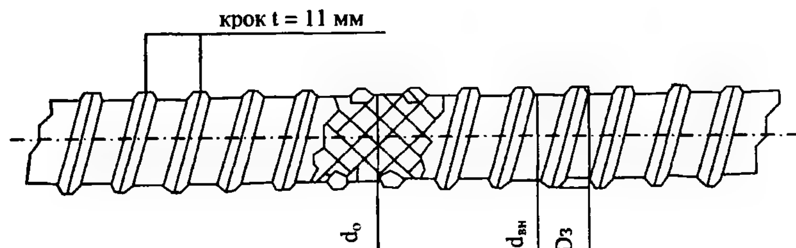


Рис. 9.3. **Композитна арматура періодичного профілю**

Характеристики зразків арматури з базальтових матеріалів періодичного профілю АБП-2, АБП-3, АБП-4 і склопластикової арматури періодичного профілю АСП-1 наведені в табл. 9.3, а діаграма розтягання – на рис. 9.4.

Таблиця 9.3

Характеристики зразків композитної арматури

Позначення	Геометричні розміри	Вага 1 пог. метра, г	Густина, г/см^3	Вміст зв'язуючого, %	Ступінь полімеризації зв'язуючого, %
АБП-2	$D_з$ = 5,0 мм $d_{вн}$ = 3,8 мм d_0 = 3,0 мм (F = 7,065 мм^2)	23,4	1,75	24	93
АБП-3	$D_з$ = 7,8 мм $d_{вн}$ = 6,5 мм d_0 = 5,8 мм (F = 26,41 мм^2)	65,0	1,75–1,83	26	93
АБП-4	$D_з$ = 10,0 мм $d_{вн}$ = 8,7 мм d_0 = 8,0 мм (F = 50,24 мм^2)	125,0	1,85–1,90	28	93
АСП-1	$D_з$ = 7,8 мм $d_{вн}$ = 6,5 мм d_0 = 6,0 мм (F = 28,26 мм^2)	65,0	1,75–1,83	26	93

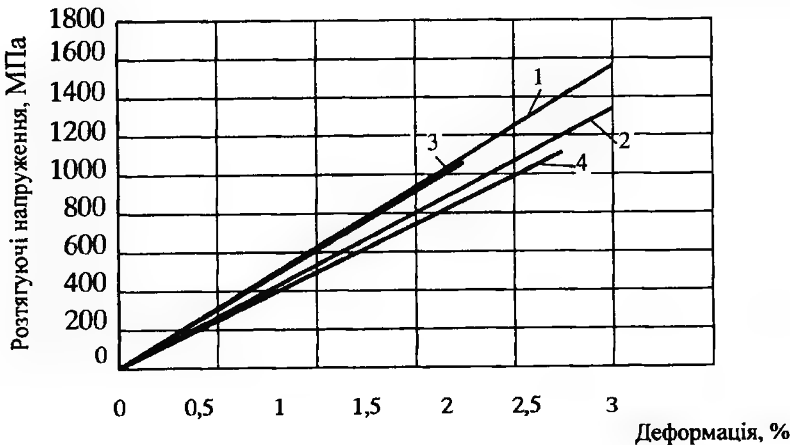


Рис. 9.4. **Залежність «напруження – деформація» при випробуванні на розтягування композитної арматури періодичного профілю:**
1 – АБП-2; 2 – АБП-3; 3 – АБП-4; 4 – АСП-1

В Україні, понад 40 років тому, опановано виробництво продукції із базальтових волокон, діаметром елементарного волокна 16±8 мкм, і базальтопластикового ровінгу і зрізів [115]. Ровінг – безперервне некручене пасмо, яке складається з заданої кількості, рівномірно натягнутих і розташованих паралельно одна одній, комплексних ниток. Ровінг характеризується лінійною густиною – 2280±220 текс, при лінійній густині комплексної нитки – 115±14 текс, і розривним навантаженням – не менше 600 Н. Зрізи – відрізки паралельних комплексних ниток довжиною 640(±40) мм, що утворюються різанням паковки комплексної нитки. Температурний діапазон застосування ровінгу і зрізів від – 200°С до +700°С.

Одним з найбільш відомих видів волокон неорганічного походження є азбест. Але можливість використання, для армування волокна азбесту, в значній мірі обмежена через відносно малу довжину цих волокон (табл. 9.1) і труднощі їх розпушення.

9.4. Вуглецеві і арамідні волокна

Останнім часом, для покращення якості бетонних виробів ефективно використовують вуглецеві і арамідні волокна [52]. Вважають [52, 125], що склопластикова і базальтопластикова арматура, має суттєво меншу величину модуля пружності, більш схильна до руйнування в середовищі бетону, в той же час їх міцність нижча (рис. 9.5), а ціна багатократно перевищує вартість сталевої арматури. Вуглецеві і арамідні волокна не

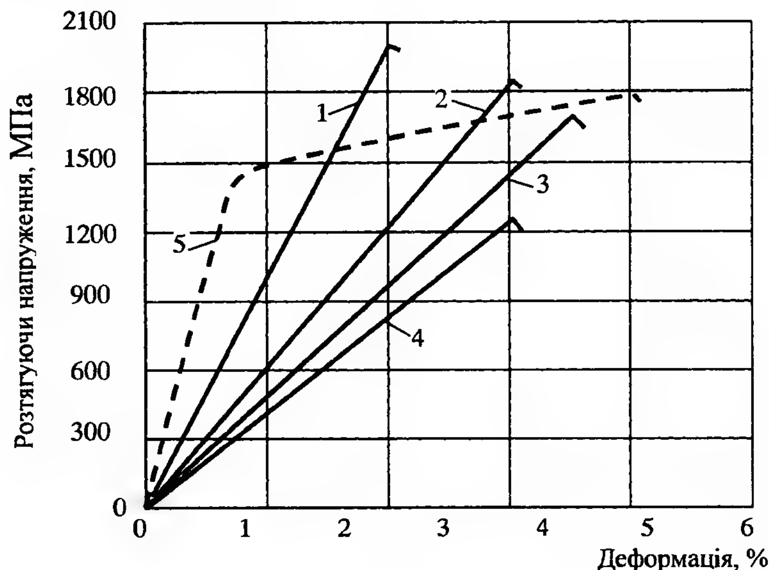


Рис. 9.5. **Робочі діаграми високоміцної неметалевої арматури**
1 – вуглепластикова арматура; 2 – арамідопластикова арматура; 3 – склопластикова арматура; 4 – базальтопластикова арматура; 5 – семидротяний сталевий канат

піддаються корозії в гідратованому цементі, помітно підвищують міцність цементного каменю на розтягування і модуль пружності.

Найбільш перспективною є вуглепластикова арматура, що виготовляється з високомодульних вуглецевих волокон $\sigma_в \geq 4000$ МПа і $E_s = 3 \cdot 10^5$ МПа. При суттєво більшій вартості цей матеріал стійкий в будь-якому агресивному середовищі, і його довговічність на багато вище сталевої арматури [136].

Певно, в найближчі десятиріччя буде здійснено промислове виробництво і використання вуглепластикової напружуваної арматури в об'ємах, порівняних з виробництвом високоміцного дроту і арматурних канатів [52, 136].

Особлива увага розробці проблеми створення і застосування високоміцної вуглецевої арматури приділяється в Японії. Дріт і канати виготовляються з вуглецевого волокна діаметром 7 мікронів, границею міцності 3600 МПа. Вихідний дріт збирається з 12 тис. волокон, що з'єднуються між собою пластиком. З дроту закручуються канати різної несучої здатності, що після сукання піддаються термічній обробці. Основні характеристики семипрядних вуглепластикових канатів такі: тимчасовий опір – 1750 МПа, модуль пружності – 140000 МПа, подовження при розриванні – 1,6%, щільність – 1,5 т/м^3, релаксація напру-

ження – 2,5%, коефіцієнт лінійного розширення – 0,6 × 10^{-6}, теплостійкість – 130–240°С, висока кислото- і лугостійкість. Розроблено широкий перспективний сортамент вуглепластикової арматури, в який входять дріт і 7, 19 и 37-дротяні канати розривним зусиллям від 10 до 100 кН. Розроблено арматуру з арамидних волокон діаметром від 3 до 16 мм розривним зусиллям від 8 до 250 кН. Граничні подовження арматури при розриванні рівні 2%, модуль пружності – 66000 МПа. Арматура відрізняється високою корозійною стійкістю в лужних і кислих середовищах. Слід зазначити, що ця арматура досить гнучка і з малих діаметрів (до 5 мм) можна виконувати поперечне спіральне армування конструкцій.

Поки що обсяги зведених споруд з використанням неметалевої арматури незначні і обмежуються автомобільними і пішохідними мостами невеликих прогонів.

Необхідно відзначити піонерні роботи, виконані в Нідерландах, з неметалевою арматурою на базі арамидних волокон прямокутного і круглого перетину. У цій країні розроблено композитний дріт діаметром 5 мм із вуглецевих волокон і епоксидного зв'язуючого; тимчасовий опір такого дроту коливається в межах від 2300 до 3300 МПа в залежності від міцності волокна і частки його вмісту в перетині. Освоєно виробництво композитного дроту й отриманий досвід її застосування в якості напружуваної арматури паль.

В останні десятиліття до досліджень бетонних конструкцій з високоміцною неметалевою арматурою приєдналися вчені Англії, Канади, США, Франції й ін.

Запитання і завдання для самоконтролю

1. На якому принципі ґрунтується можливість застосування неметалевої арматури в бетонних конструкціях?
2. Класифікація неметалевої арматури. Класифікація арматурних волокон.
3. Назвіть і охарактеризуйте можливі способи орієнтації волокон в об'ємі бетону.
4. Неметалеві монолітні стержні і дротини: сировина і способи отримання.
5. Види органічних волокон природного походження і особливості їх застосування в бетонних конструкціях.
6. Синтетичні волокна: види, особливості застосування.
7. Скляні волокна: сировина, характеристики, особливості використання, досвід застосування.
8. Вуглецеві і арамідні волокна.

ДОДАТОК А
(довідковий)

КЛАСИФІКАЦІЯ АРМАТУРНОГО ПРОКАТУ ЗА РІЗНИМИ НОРМАТИВНИМИ ДОКУМЕНТАМИ

<table>
<tr><th>ДСТУ 3760-98</th><th>ГОСТ 10884-94</th><th>ГОСТ 5781-82</th><th>СНиП 2.03.01-84</th></tr>
<tr><td>А240С</td><td>–</td><td>А-I(А240)</td><td>А-I</td></tr>
<tr><td>А300С</td><td>–</td><td>А-II(А300)</td><td>А-II</td></tr>
<tr><td>–</td><td>–</td><td>Ас-II(Ас300)</td><td>Ас-II</td></tr>
<tr><td rowspan="2">А400</td><td rowspan="2">Ат400С</td><td rowspan="2">А-III(А400)</td><td>А-III</td></tr>
<tr><td>Ат-IIIС</td></tr>
<tr><td>А500С</td><td>Ат500С</td><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td>А600</td><td rowspan="2">Ат600</td><td>А-IV(А600)</td><td>А-IV</td></tr>
<tr><td rowspan="2">А600С</td><td>А-IV(А600)</td><td>Ат-IV</td></tr>
<tr><td>Ат600С</td><td></td><td>Ат-IVС</td></tr>
<tr><td>А600К</td><td>Ат600К</td><td>–</td><td>Ат-IVК</td></tr>
<tr><td rowspan="2">А800</td><td rowspan="2">Ат800</td><td rowspan="2">А-V(А800)</td><td>А-V</td></tr>
<tr><td>Ат-V</td></tr>
<tr><td>–</td><td>–</td><td>–</td><td>Ат-VСК</td></tr>
<tr><td>А800К</td><td>Ат800К</td><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td rowspan="2">А1000</td><td rowspan="2">Ат1000</td><td rowspan="2">А-VI(А1000)</td><td>А-VI</td></tr>
<tr><td>Ат-VI</td></tr>
<tr><td>–</td><td>Ат1000К</td><td>–</td><td>Ат-VIК</td></tr>
<tr><td>–</td><td>Ат1200</td><td>–</td><td>Ат-VII</td></tr>
</table>

ДОДАТОК Б
(довідковий)

НОРМАТИВНА ДОКУМЕНТАЦІЯ ЗА КОРДОНОМ

Майже всі країни світу ввели стандарти на арматурні сталі, які розповсюджуються на окремі види арматури і їх профілі. Нижче наведено вимоги нормативних документів деяких країн-виробників арматурного прокату [4].

Стандарти ISO 6934-1:1990, ISO 6935-2, ISO 6934-5:1991, розроблені Міжнародною організацією з стандартизації.

ISO 6934-1:1990. Сталь для попередньо напруженого залізобетону. Частина 1. Загальні вимоги.

Стандарт містить вимоги до високоміцної сталі, яка призначена для попередньо напружених залізобетонних конструкцій, і не розповсюджується на анкерні кріплення.

Сталь може бути виготовлена будь-яким способом.

Типи арматурної сталі за ISO 6934: холоднодеформований дріт, гладкий дріт, рифлений дріт, зазубрений дріт, гофрований дріт, дріт в мотках, стабілізований дріт, загартований і відпущений дріт, жмут, пруток.

При виготовленні стержнів арматурної сталі періодичного профілю їх номінальний діаметр визначається за формулою (Б.1):

$$d_e = 12{,}74\sqrt{\frac{m}{l}}, \text{ мм}, \tag{Б.1}$$

де d_e – номінальний діаметр, мм; m – маса стержня, г; l – довжина стержня, мм.

Номінальна площа поперечного перерізу стержня дорівнює площі поперечного перерізу круглого стержня, що має номінальний діаметр.

Хімічний склад сталі повинен забезпечувати необхідні службові властивості і визначається виробником. Масова частка сірки і фосфору не повинна перевищувати 0,04% – кожного.

Згідно ISO 6934 визначають такі показники механічних властивостей:

– максимальне зусилля при розтягуванні;
– максимально допустиме зусилля при розтягуванні;
– загальне подовження при максимальному зусиллі;
– пластичність;
– ізотермічна релаксація.

Оскільки механічні властивості залежать від хімічного складу сталі, виду продукції, способу і параметрів процесу виготовлення продукції, конкретні значення механічних властивостей наведені в нормативній документації на окремі види продукції.

Не менше 95% продукції повинні мати механічні властивості не менші характеристичних значень, які можуть вважатися гарантованим мінімумом значень.

Допустиме максимальне зусилля визначається при 0,1% непропорційного подовження, пластичність визначають при згинанні чи знакозмінному вигинанні.

Випробування на релаксацію проводять при температурі 20°С і навантаженні, яке складає 60, 70 і 80% нормованого тимчасового опору (60 і 80% – на вимогу споживача).

При випробуванні на втомну міцність зразки повинні витримувати 2×10^6 циклів при навантаженні, що дорівнює 70% номінального тимчасового опору.

Готові вироби на поверхні не повинні мати дефектів, які можуть впливати на службові характеристики виробу. Якщо немає особливих вимог, допускаються волосовини глибиною не більш 4% діаметра прокату.

Умови постачання за ISO 6934 застерігають, що кожний моток дроту чи в'язка прутків повинні мати бирку з наведенням:

– номера частини ISO 6934;
– номінального діаметра;
– номінального тимчасового опору;
– данних про релаксацію;
– номерів мотків чи партії прутків згідно сертифікату випробувань.

ISO 6935-2:1990. Сталь для армування залізобетону. Частина 2. Арматура періодичного профілю.

Стандарт вміщує вимоги до арматури періодичного профілю для армування конструкцій, які не підлягають попередньому напруженню.

Для цього визначені три марки незварюваної сталі (RB300, RB400, RB500) і дві марки сталі, що зварюється (RB400W, RB500W).

Прокат поставляється в гарячекатаному, термічно обробленому чи холоднодеформованому стані.

Сталь поставляється в прутках і мотках, при цьому номінальний діаметр прокату розраховують за формулою (Б.1):

Сортамент, маса прутків і допустимі відхилення за масою повинні відповідати нормам, наведеним в табл. Б.1, параметри періодичного профілю – табл. Б.2.

Таблиця Б.1

Сортамент стержньової арматури за ISO 6935-2:1990

Номінальний діаметр прутка, d_e, мм	Номінальна площа поперечного перерізу, мм^2	Маса 1 погонного метра	
		розрахункова, кг	допустиме відхилення, %
6	28,3	0,222	±8
8	50,3	0,395	±8
10	78,3	0,617	±5
12	113	0,88	±5
16	201	1,58	±5
20	314	2,47	±5
25	491	3,85	±4
32	804	6,31	±4
40	1256	9,86	±4

Таблиця Б.2

Характеристика періодичних профілів арматурного прокату

Параметр	Номінальний діаметр, d_e, мм	Гарячекатаний прокат		Пруток, що піддали крученню
		виступи однакової висоти	серповидний профіль	
Висота поперечних виступів	6–40	$0,05d_e$	$0,065d_e$	$(0,052–0,062)d_e$
Висота поздовжніх виступів, не більше	–	–	–	$0,07d_e$
Крок поперечних виступів	6–8	$0,7d_e$	$1,0d_e$	$(1,0–1,2)d_e$
	більш 10	$0,7d_e$	$0,8d_e$	$(0,8–1,0)d_e$
	12–14	$0,5d_e$	$0,5d_e$	$0,5d_e$
Кут нахилу поперечного ребра до осі стержня, град, не більше	6–40	35	35	35

Довжина стержнів – 12 і 18 м, граничне відхилення +100 мм.

Хімічний склад сталі за ковшовою пробою і в готовому прокаті (в дужках) наведено в табл. Б.3.

Таблиця Б.3

Хімічний склад сталі за ISO 6935-2:1990

Марка арматурної сталі	Масова частка хімічних елементів, %, не більше						
	C	Si	Mn	P	S	N	вуглецевий еквівалент
RB300, RB400, RB500		–	–	0,060 (0,070)	0,060 (0,070)	–	–
RB400W, RB500W	0,22 (0,24)	0,60 (0,65)	1,60 (1,70)	0,050 (0,055)	0,050 (0,055)	0,012 (0,013)	0,50 (0,52)

Для марок RB400W і RB500W діаметром 32 мм і більше масова доля вуглецю може бути не більше 0,27% і значення вуглецевого еквіваленту – не більше 0,57%.

Вуглецевий еквівалент визначається за формулою (Б.2):

$$C_e = \mathrm{C} + \frac{M_n}{6} + \frac{C_r + V + M_o}{5} + \frac{N_i + C_u}{15}. \qquad (Б.2)$$

При випробуванні на розтягування не менше 95% зразків повинні мати показники механічних властивостей, наведених в табл. Б.4.

Таблиця Б.4

Механічні властивості арматурного прокату за ISO 6935-2:1990

Марка сталі	Границя текучості, R_e, МПа (Н/мм^2)	Тимчасовий опір, R_m, МПа (Н/мм^2)	Подовження, А, %
	не менше		
RB300	300	330	16
RB400	400	440	14
RB400W			
RB500	500	550	14
RB500W			

Відношення тимчасового опору до границі текучості повинно бути не менше 1,05. Подовження при максимальному навантаженні повинно бути не менше 2,5%.

Прокат піддається випробуванню на згинання чи на згинання з розгинанням. Випробування на згинання проводять у відповідності з вимогами ISO 10065. Діаметр оправки при згинанні на 160–180° наведено в табл. Б.5.

Таблиця Б.5

Діаметр оправки при проведенні випробування на згинання

Марка сталі	Діаметр оправки в залежності від діаметра прутка, мм								
	6	8	10	12	16	20	25	32	40
RB300	12,5	16	20	32	50	63	100	125	160
RB400, RB400W	16	20	25	40	63	80	125	160	200
RB500, RB500W	20	25	32	50	80	100	160	200	250

Кут загинання – 90°, розгинання – 20°, діаметр оправки в залежності від номінального діаметра стержнів змінюється від 32 до 400 мм.

Арматурна сталь повинна позначатися в документах таким чином:

- арматурна сталь;
- номер даної частини ISO 6935;
- номінальний діаметр;
- марка сталі.

Приклад умовного позначення сталі марки RB500W діаметром 16 мм:

Арматурна сталь ISO 6935-2-16 RB500W.

Всі прутки мають прокатне маркування, яке визначається певним розташуванням потовщених ребер.

ISO 6934-5:1991. Сталь для попередньо напруженого бетону. Частина 3. Загартований і відпущений дріт.

Даний стандарт розповсюджується на круглий високоміцний дріт, що має гладку, ребристу, з виступами чи впадинами поверхню. Постачається в мотках у відповідності з вимогами ISO 6934-1.

Дріт виготовляють з високоміцної сталі у відповідності з ISO 6934-1. Дріт не зварюється і не підлягає іншим видам з'єднань.

Поверхня дроту повинна забезпечувати зчеплення металу з бетоном. Тип поверхні обирає споживач.

Вимоги до розмірів, маси і міцносних властивостей загартованого і відпущеного дроту наведені в табл. Б.6.

Дріт виготовляють двох класів пластичності, які відрізняються характеристикою подовження при максимальному зусиллі: клас пластичності 35 (duct 35) має подовження (A_{gt}) 3,5%, клас 25 – 2,5%.

Таблиця Б.6

Характеристика параметрів профілю, маса, механічні властивості дроту

Вид поверхні	Номінальний діаметр	Номінальний тимчасовий опір, Н/мм^2	Номінальна площа поперечного перерізу, мм^2	Маса відрізка довжини		Характеристика		
				мінімальна, г/м	максимальна, г/м	тимчасовий опір, МПа (Н/мм^2)	напруження при 0,2% навантаження, МПа (Н/мм^2)	напруження при 0,1% навантаження, МПа (Н/мм^2)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гладка	6,0	1570	28,3	210	228	1570 для всіх розмірів	1420 для всіх розмірів	1380 для всіх розмірів
	7,0		38,5	285	310			
	8,0		50,3	373	404			
	10,0		78,5	582	631			
	12,2		117	867	941			
	14,0		154	1143	1239			
	16,0		201	1491	1617			
Ребриста	6,2	1570	30,2	224	243	1570 для всіх розмірів	1420 для всіх розмірів	1380 для всіх розмірів
	7,2		40,7	301	327			
	8,0		50,3	373	404			
	10,0		78,5	582	631			
	12,0		113	838	909			
	14,0		154	1143	1239			
	16,0		201	1491	1617			
З виступами чи впадинами	7,1	1420	40	301	327	1420 для всіх розмірів	1275 для всіх розмірів	1250 для всіх розмірів
	9,0		64	482	522			
	10,7		90	679	735			
	12,6		125	942	1020			

Примітки. 1. Забезпеченість показників міцносних властивостей повинна бути не менше 95%.

2. Вид поверхні, номінальний діаметр і номінальний тимчасовій опір — довідкові данні.

Дріт з номінальним діаметром до 10 мм включно повинний витримувати 4 вигини навколо оправки без видимих тріщин — у відповідності з

ISO 7801. Дріт більших діаметрів повинний витримувати згинання на 160–180°, у відповідності з ISO 10065, без видимих тріщин. Діаметр оправки дорівнює 10 номінальним діаметрам дроту.

Вимоги до релаксації напруження дроту наведені в табл. Б.7.

Таблиця Б.7

Показники релаксації напруження арматурного дроту

Початкове напруження в відсотках від номінального тимчасового опору	Клас релаксації	
	relax 1, max	relax 2, max
70	4,0	2,0
60	2,0	1,0
80	9,0	4,5

На вимогу споживача дріт повинний витримувати без руйнування 2×10^6 циклів напруження при максимальному напруженні 70% номінального тимчасового опору. Інтервал напруження для дроту гладкого профілю складає 200 МПа (Н/мм^2), для дроту інших профілів – 180 МПа (Н/мм^2).

Умови поставки дроту повинні відповідати ISO 6934-1 з доповненням: дріт може бути вкритий шаром окалини.

ENV 10080:1995. Сталь для армування бетону. Зварювана ребриста арматурна сталь B500. Технічні умови поставки прутків, мотків і зварної сітки (Євросоюз).

Стандарт розповсюджується на нелеговану якісну арматурну сталь періодичного профілю з границею текучості не менше 500 МПа (B500) категорій А і В, які відрізняються значеннями мінімального відносного подовження і взаємним розташуванням поперечних виступів. Згідно цього документа, арматурну сталь виготовляють у вигляді прутків, мотків і сіток.

Арматурна сталь виготовляється шляхом:

– гарячого прокатування;

– гарячого прокатування з термообробкою в потоці стану;

– гарячого прокатування, охолодженням, деформацією в холодному стані.

Процес виправлення, розкислення, спосіб виробництва визначає виробник і за вимогою споживача вказує в документі про якість.

Механічні властивості арматурної сталі наведені в табл. Б.8.

Таблиця Б.8

Механічні характеристики арматурної сталі класу B500 за ENV 10080:1995

Параметр	Вид продукції, категорія						Імовірність
	прутки		мотки		сітки		
	B500A	B500B	B500A	B500B	B500A	B500B	
Номінальний діаметр, d_e, мм	6–16	6–40	5–16	6–16	5–16	6–16	–
Границя текучості, R_e, МПа (Н/мм^2)	500	500	500	500	500	500	0,95
Відношення тимчасового опору до границі текучості (R_m/R_e)	1,05	1,08	1,05	1,08	1,08	1,08	0,90
Загальне подовження при максимальному зусиллі, A_{gt}, %	2,5	5,0	2,5	5,0	2,5	5,0	0,90
Втомна міцність (амплітуда напружень $1\sigma_A$), МПа (Н/мм^2)	180	180	180	180	180	180	0,90

Профіль арматурної сталі категорій А і В характеризуються поперечними серповидними виступами, які не з'єднуються з поздовжніми виступами. Для сталі категорії А поперечні виступи на обох боках стержня мають однаковий захід (рис Б.1 *а*), категорія В – протилежний (рис. Б.1 *б*).

Міцність зварного з'єднання в сітках визначається як добуток $0{,}3R_e$ на номінальну площу поперечного перерізу дроту. Допустиме відхилення за масою ±4,5%.

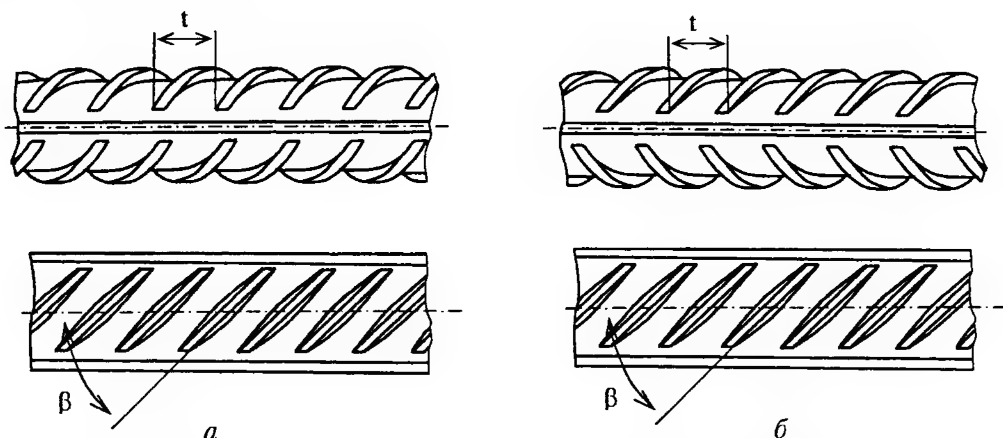


Рис. Б.1. **Профілі арматурної сталі за ENV 10080:**
а – профіль арматурної сталі категорії А; *б* – профіль арматурної сталі категорії В

Випробування на згинання є складовою часиною випробування на згинання з розгинанням (90° – згинання, 20° – розгинання). Діаметр оправки для стержнів з номінальним діаметром (d_e) до 12 мм – 5d, діаметром від 12 до 16 мм – 6d, діаметром від 16 до 25 мм – 8d, діаметром від 25 до 40 мм – 10d. Режим старіння між згинанням і розгинанням: нагрівання до 100°С, витримування – 1 год.

Хімічний склад сталі наведено в табл. Б.9.

Таблиця Б.9

Хімічний склад сталі класу В500

Вид аналізу	Масова частка хімічних елементів, % не більше				Вуглецевий еквівалент, %, не більше
	C	P	S	N	
Ковшова проба	0,22	0,050	0,050	0,012	0,50
В готовому прокаті	0,24	0,055	0,055	0,013	0,52

Допускається більш висока масова частка азоту при достатній кількості хімічних елементів, які зв'язують азот.

Вуглецевий еквівалент визначають за формулою (Б.2).

При дотриманні вимог за вуглецевим еквівалентом сталь вважається зварюваною такими способами:

– дуговим зварюванням;

– зварюванням в середовищі захисного газу;

– контактним стиковим з'єднанням.

Якщо при випробуванні на розтягування відсутня площадка текучості, визначають умовну границю текучості $R_{P0,2}$ чи міцність при загальному подовженні 0,5% ($R_{P0,2}$).

Арматурну сталь випробують на втомну міцність на базі 2×10^6 циклів з відхиленням напруження в бік менших значень від максимального значення 300 МПа (Н/мм^2) ($0,6 \times R_e$ – номінальне).

Довжина прутків визначається в замовленні, але переважною довжиною є 12 м з допустимими відхиленнями за довжиною від 0 до +100 мм. Номінальний діаметр арматурної сталі від 5,0 до 40,0 мм (всього 22 значення діаметра).

Проекція поперечних виступів (f_k), віднесена до їх кроку, залежить від діаметра стержнів і складає:

– діаметр стержнів 5,0–6,0 – відносна площа 0,039;

– діаметр 6,5–8,5 – 0,045;

– діаметр 9,5–10,5 – 0,052;

– діаметр 11,0–40,0 – 0,056.

Основні параметри профілю: максимальна висота поперечного виступу – від 0,05 до 0,10 номінального діаметра; кут нахилу до поздовжньої осі (β) – 35–75°; відстань між поперечними виступами (t) – 0,05–1,0 номінального діаметра (рис. Б.1).

Приклад умовного позначення прутка з номінальним діаметром 20 мм і довжиною 12000 мм категорії А:

Пруток 2 ENV 10080-20×12000-B500A.

BS 4449-97. Прутки сталеві гарячекатані для армування бетону. Технічні вимоги. (Велікобританія).

Цей стандарт Великобританії розповсюджується на арматурний прокат, що зварюється, гладкого профілю класу 250 і періодичного профілю класу 460 (тип 1 і 2) з двома категоріями пластичності 460А і 460В. Номінальний діаметр прутків наведено в табл. Б.10.

Таблиця Б.10

Діаметри арматурного прокату класу 250 і 460 залежно від класів міцності за BS 4449-97

Клас міцності арматурного прокату	Номінальний діаметр, мм
250	8, 10, 12, 16
460	8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40

Допускається виготовлення прутків діаметром 6 і 50 мм.

За довжиною прутка допускаються зварні з'єднання, які отримують контактно-стиковим зварюванням оплавленням. Споживач може замовити прутки без зварних швів.

Характеристика профілю прутків наведена в табл. Б.11.

Таблиця Б.11

Сортамент арматурного прокату за BS 4449-97

Номінальний діаметр, мм	Площа поперечного перерізу, мм²	Маса одного погонного метра прутка, кг
6	28,3	0,222
8	50,3	0,395
10	78,5	0,616
12	113,1	0,888
16	201,1	1,579
20	314,2	2,466
25	490,9	3,854
32	804,2	6,313
40	1256,6	9,864
50	1963,5	15,413

Допустимі відхилення за масою складають для прутків діаметром 6 мм – ±9%, діаметром 8 і 10 мм – ±6,5%, діаметром 12 мм і більше – ±4,5%.

Прокат поставляють в мірних довжинах, які замовлені споживачем, з точністю ±25 мм.

Масова доля хімічних елементів в сталі за ковшовою пробою і значення вуглецевого еквіваленту, що розраховується за формулою (Б.2), наведені в таблиці Б.12.

Таблиця Б.12

Масова доля хімічних елементів в арматурній сталі

Клас прокату	Масова частка хімічних елементів, %, не більше				Вуглецевий еквівалент, %, не більше
	C	S	P	N	
250	0,25	0,060	0,060	0,012	0,42
460	0,25	0,050	0,050	0,012	0,51

Максимальне значення азоту не регламентується, якщо в сталі міститься алюміній в кількості не менше 0,020% чи інші нітридоутворюючі елементи в достатніх кількостях. В готовому прокаті допускаються такі плюсові відхилення: вуглець – 0,02%, сірка – 0,005%, фосфор – 0,005%, загальний азот – 0,001%, вуглецевий еквівалент – 0,03%.

Зварюваність сталі забезпечується її хімічним складом і нормуванням величини вуглецевого еквіваленту.

Механічні властивості арматурного прокату наведені в табл. Б.13.

Таблиця Б.13

Механічні характеристики прокату за BS 4449-97

Клас арматурного прокату	Границя текучості, R_e, МПа (Н/мм²)	Співвідношення напружень, R_m/R_e	Відносне подовження при розриві, A_5, %	Загальне відносне подовження при максимальному зусиллі, A_{gt}, %
250	250	1,15	22	–
460A	460	1,05	12	2,5
460B	460	1,08	14	5

Якщо загальне відносне подовження при максимальному зусиллі виявиться нижче мінімального значення встановленого в табл. Б.13, арматурний прокат не відбраковують тільки за цим показником.

Арматурний прокат піддають випробуванням на втомленість шляхом періодичних випробувань зразків (1 раз на 3 роки) в дослідних лабораторіях.

Прутки повинні витримувати 5×10^6 циклів напруження при різних амплітудах, які залежать від діаметра прутка.

Окрім здавальних випробувань, проводять довготривалий контроль рівня якості, періодичність якого складає 3 місяця чи після отримання не менше 200 результатів.

DIN 488. Частина 1:1984. Арматурна сталь. Марки. Характеристики. Маркування. (Німечина)

Згідно цього стандарту, арматурну сталь виготовляють у вигляді стержнів (S), арматурних сіток (M) і арматурного дроту (G и P).

Арматурні стержні постачають у вигляді прямих прутків періодичного профілю класів B St420S и B St500S з мінімальним значенням границі текучості 420 і 500 МПа (Н/мм^2) відповідно.

Стержні виготовляють такими способами:

– гарячим прокатуванням без додаткової обробки;

– термічним обробленням з прокатного нагрівання;

– холодним деформуванням, деформація гарячекатаних стержнів (кручення або волочіння).

Поперечні виступи мають серповидну форму і не з'єднуються з поздовжніми виступами, наявність яких допустима, але не обов'язкова. Відстані між кінцями поперечних виступів протилежних напівкіл повинні бути не більше 0,2 умовного діаметра.

Арматурні сітки являють собою арматуру із стержнів, які перехрещуються і закріплюються між собою в місцях перетину точковим контактним зварюванням. Клас B St500M означає, що стержні повинні мати границю текучості не менше 500 МПа (Н/мм^2).

Арматурний дріт виготовляють гладкого (B St500G) і періодичного профілю (B St500P). Границя текучості дроту не менше 500 МПа (Н/мм^2), поставки дроту здійснюється в мотках.

Класифікація і характеристика арматурної сталі наведені в табл. Б.14.

В табл. Б.14 вказана масова частка загального азоту. Більш висока масова частка азоту допустима при наявності елементів, які його зв'язують.

Цей стандарт розповсюджується на сталь, що зварюється і не розповсюджується на арматурну сталь, призначену для армування попередньо напружених залізобетонних конструкцій.

Згідно цього документа, використовують такі види зварювання: ручне дугове зварювання металевими електродами (E), зварювання в захисному газі (MAG), газополум'яне зварювання (GP), контактно-стикове зварювання оплавленням (RA), точкове контактне зварювання (RP).

Сітки виготовляють з стержнів періодичного профілю. При зварюванні газополум'яним зварюванням мінімальний діаметр стержнів складає 6 мм, ручним дуговим зварюванням – не менше 8 мм.

Таблиця Б.14

Класифікація і характеристика сталі

Марка арматурної сталі						Показник статистичної імовірності, P, %
	Скорочене позначення (клас)		B St420G	B St500G	B St500M	
	Скорочене маркування		III S	IV S	IV M	
	Номер матеріалу		1.0428	1.0438	1.0466	
	Форма виробу		арматурні стержні		арматурна сітка	
1	Номінальний діаметр, мм		від 6 до 28		від 4 до 12	
2	Фізична (R_e) чи умовна ($R_{p0,2}$) границя текучості, МПа (Н/мм²)		не менше 420	не менше 500		5,0
3	Тимчасовий опір, R_m, МПа (Н/мм²)		не менше 500	не менше 550		5,0
4	Подовження A_{10}, %		не менше 10		не менше 8	5,0
5	Границя втомленості в забетоно-ваному стані, Н/мм²	Амплітуда коливань				
	Стержні прямі	$2\sigma_A(2 \times 10^6)$	215		–	10,0
	Стержні вигнуті	$2\sigma_A(2 \times 10^6)$	170		–	10,0
	Сітки з стержнів	$2\sigma_A(2 \times 10^6)$	–		100	10,0
	В місці зварювання	$2\sigma_A(2 \times 10^5)$	–		200	10,0
6	Діаметр оправки при діаметрі стержнів, d_s, мм	Від 6 до 12	$5d_s$		–	1,0
		Від 14 до 16	$6d_s$		–	1,0
		Від 20 до 28	$8d_s$		–	1,0
7	Діаметр оправки при випробуванні в місці зварювання		–		d_s	5,0
8	Міцність при зрізуванні, Н				$0,3 \cdot A_з \cdot R_e$	5,0
9	Допустиме відхилення номінального поперечного перерізу, %		4			5,0
10	Відносна площа поперечного ребра, f_R		DIN 488, частина 2	DIN 488, частина 4	0	

11	Масова доля хімічних елементів за ковшовою пробою і в готовому прокаті (в дужках), не більше, %	C	0,22(0,24)	0,15(0,17)	–
		P	0,050(0,055)		
		S	0,050(0,055)		
		N	0,012(0,013)		
12	Допустимі види зварювання		E, MAG, GP, RA, RP	E, MAG, RP	–

Згідно стандарту, в документі про якість наводять такі дані: вид виробу, номер стандарту, позначення арматурної сталі чи матеріалу, номінальний діаметр стержнів чи дроту і розміри сіток.

Приклади умовного позначення:

– арматурні стержні класу B St500G діаметром 20 мм:

арматурні стержні DIN 488 – B St500G – 20

– за номером матеріалу:

арматурні стержні DIN 488 –1.0438 – 20;

– дріт гладкий класу B St500G діаметром 6 мм:

арматурні стержні DIN 488 – B St500G – 6

– за номером матеріалу:

арматурні стержні DIN 488 –1.0464 – 6.

Стандарт гармонізовано з EURONORM і ISO.

Необхідно відмітити, що у європейських країнах пішли шляхом уніфікації. Тобто всю стержньову ненапружувану арматуру періодичного профілю уніфікували – перейшли за EN10080 [38] на клас сталі B500W(A500C) з нормативною границею текучості 500 МПа (Н/мм^2) і хімічним складом, наведеним в табл. Б.15, який прийнято як єдиний для всіх країн Європи.

Таблиця Б.15

Хімічний склад клас сталі B500W(A500C) за DIN 488

Вміст хімічних елементів, %, не більше						
C[1)]	Si	Mn	P	S	N[2)]	Секв[1)]
0,22 (0,24)[3)]	0,60 (0,65)	1,60 (1,70)	0,050 (0,055)	0,050 (0,055)	0,012 (0,013)	0,50 (0,52)

Примітки. 1. Для прутків діаметром більше 32 мм допускається вміст вуглецю до 0,25% (0,27%) і вуглецевий еквівалент $C_{екв}$, що підраховується за формулою (Б.3), до 0,55% (0,57%):

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V + Mo}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \quad (Б.3)$$

де *C, Mn, Cr, V, Mo, Cu* і *Ni* — вміст у % відповідно вуглецю, марганцю, хрому, ванадію, молібдену, міді і нікелю.

2. Зазначене обмеження за вмістом азоту не відноситься до вмісту азоту в зв'язаному стані.

3. У дужках приведений вміст елементів у готовому прокаті.

Перехід на використання уніфікованої зварюваної сталі класу А500С має такі переваги:

– економія коштовних легуючих матеріалів і зниження собівартості сталі;

– можливість уніфікації властивостей арматури з усіма країнами Європи;

– одержання дуже пластичної арматури, що добре зварюється, яка може замінити всі інші класи ненапруженої арматури від А240(А-І) до А400(А-ІІІ).

Перехід на арматуру класу А500С дає загальну економію – 10–12% сталі [11,133].

ACI 439.4R-89. Властивості арматурного прокату і рекомендації до його застосування в США.

В рекомендаціях з використання арматурного прокату в США наведені вимоги до міцносних властивостей, а також класифікація стержнів гладких, стержнів періодичного профілю, дроту гладкого і періодичного профілю, жмутів, сіток, прокату з захисним покриттям, які викладені в стандартах ASTM A615, A616, A617, A706, A184, A767, A775, A82, A496, A185, A497, A416, A421, A722 і A779. Наведені умови проведення випробувань на згинання стержнів (A615, A616, A617 і A706), в залежності від їх класу і діаметра, а також вимоги до хімічного складу і вуглецевого еквіваленту (A706) сталі, з якої ці стержні виготовлені.

В рекомендаціях наведена інформація про 17 стандартів ASTM на арматурний прокат, дріт і сітки, що діють в США.

ASTM A615/A 615M-01a-2001. Стандарт технічних умов на арматурні прутки періодичного профілю і гладкі для армування бетону (США).

Стандарт поширюється на арматурний прокат гладкого і періодичного профілю, отриманий з сталевої заготовки, що поставляється в мірних довжинах і в мотках.

Прокат виготовляється трьох класів з рівнем мінімальної границі текучості 300, 420 і 520 МПа (Н/мм^2), які позначають як класи 40(300), 60(420), 75(520), де перше число означає мінімальну границю текучості в фунт/дюйм^2, цифри в дужках – мінімальну границю текучості в МПа (Н/мм^2).

Сталь, з якої виготовляють прокат, виплавляється мартенівським, киснево-конверторним способом чи в електропечах.

Обов'язковою вимогою до хімічного складу сталі є обмеження максимального вмісту фосфору, не більше 0,06%, в готовому прокаті допускається перевищення цієї норми не більше ніж на 25%. При аналізі хімічного складу (плавочному чи готового прокату) визначають масові частки вуглецю, марганцю, фосфору і сірки.

Вимоги до періодичного профілю такі:

– кут нахилу поперечних виступів – не менше 45°;

– якщо кут нахилу поперечних виступів від 45 до 70° включно, то напрям поперечних виступів на кожному боці повинен бути протилежним. Якщо кут нахилу перевищує 70°, напрям виступів не змінюється;

– крок виступів повинен бути не більше 0,7 номінального діаметра прутка;

– загальна довжина виступів повинна бути такою, щоб зазор на протилежних сторонах прутка не перевищував 12,5% номінального діаметра прутка. Якщо кінці з'єднуються з поздовжніми ребрами, ширина поздовжнього ребра розглядається як зазор;

– недотримання вимог до розмірів виступів не є підставою для відбракування партії, якщо на кожному боці прутка виміряно менше 10 сусідніх виступів.

Вимоги до механічних властивостей прокату наведені в табл. Б.16.

Таблиця Б.16

Характеристика механічних властивостей прокату ASTM A615/A

Клас арматурного прокату	40(300)	60(420)	75(520)
Тимчасовий опір розриву, МПа (Н/мм^2)	420	620	690
Границя текучості, МПа (Н/мм^2)	300	420	520
Відносне подовження на базі 203,2 мм, мінімальне, %, для прутка діаметра:			
10	11	9	–
13, 16	12	9	–
19	12	9	7
22, 25	–	8	7
29, 32, 36	–	7	6
43, 57	–	7	6

Примітка. Прутки класу 40 поставляються тільки діаметрами 10–19 мм. Прутки класу 75 поставляються тільки діаметрами 19–57 мм.

Випробування на згинання можна проводити різними способами, але при цьому зразок повинен мати достатню довжину, яка забезпечує вільний загин за допомогою пристроїв. Вимоги до величини вигину залежать від діаметра прутка.

Прутки не повинні мати шкідливих дефектів поверхні: іржі, волосовин, нерівностей поверхні чи повторної окалини. Однак, ці дефекти не є причиною відбракування, якщо геометричні параметри і властивості зразка відповідають вимогам стандарту після ручної обробки зразка металевою щіткою.

Дефекти поверхні, що відрізняються від вказаних вище, вважаються шкідливими, якщо зразки не відповідають вимогам, що висуваються до випробувань на розтяг і вигін.

ASTM A617-79. Прутки гладкі і періодичного профілю з осьової сталі для армування бетону (США).

В США, згідно цього стандарту, виготовляють прутки для армування бетону з сталевих осьових заготовок діаметром від 108 до 279,4 мм для автобудівництва і локомотивних тендерів. Матеріал прутка – вуглецева сталь.

Прутки мають параметри, наведені в табл. Б.17.

Таблиця Б.17

Сортамент і параметри прутків з осьової сталі

Номер арматурного профілю	Номінальна вага 1 погонного метра прутка, кг/м	Номінальний діаметр, мм	Периметр, мм
1	2	3	4
3	0,560	9,52	29,9
4	0,994	12,70	39,9
5	1,552	15,88	49,9
6	2,235	19,05	59,8
7	3,042	22,22	69,8
8	3,073	25,40	79,8
9	5,059	28,65	90,0
10	6,430	32,26	101,4
11	7,906	35,81	112,5

Прокат виготовляють двох класів – класу 40 і класу 60. Механічні властивості прокату цих класів наведені в табл. Б.18.

Таблиця Б.18.

Механічні властивості прокату з осьової сталі

Параметр	Клас арматурного прокату	
	40	60
Тимчасовий опір розриву, МПа (Н/мм^2), мінімальний	480	520
Границя текучості, МПа (Н/мм^2), мінімальна	275	415
Відносне подовження на базі 203 мм, мінімальне, %, для номерів прутків:		
3	11	8
4, 5, 6	12	8
7	11	8
8	10	7
9	9	7
10	8	7
11	7	7

Діаметр оправки при випробуванні на згинання на 180°, в залежності від діаметра стержнів (d), вибирається у відповідності з табл. Б.19.

Таблиця Б.19

Діаметр оправки залежно від діаметра стержнів

Номер арматурного профілю	Клас арматурного прокату	
	40	60
3, 4, 5	4d	4d
6	5d	5d
7, 8	5d	6d
9, 10, 11	5d	8d

ASTM A706/A706M-90. Прутки періодичного профілю з низьколегованої сталі для армування бетону (США).

Згідного цього стандарту, виготовляють прутки періодичного профілю з характеристиками, наведеними в табл. Б.20.

Таблиця Б.20

Характеристика прутків періодичного профілю

Умовний номер профілю	Номінальний діаметр, мм	Маса 1 погонного метру, кг	Периметр, мм	Поперечний переріз, мм^2	Максимальний крок ребер, мм	Мінімальна висота поперечного ребра, мм	Довжина хорди (нареберна частина), яка відповідає 12,5% номінального периметра, мм
10	11,3	0,785	35,5	100	7,9	0,45	4,4
15	16,0	1,570	50,3	200	11,2	0,72	6,3
20	19,5	2,355	61,3	300	13,6	0,98	7,7
25	25,2	3,925	79,2	500	17,6	1,26	9,9
30	29,9	5,495	93,9	700	20,9	1,48	11,7
35	35,7	7,85	112,2	1000	25,0	1,79	14,0
45	43,7	11,775	137,3	1500	30,6	2,20	17,2
55	56,4	19,625	177,2	2500	39,4	2,55	22,2

Хімічний склад сталі наведено в табл. Б.21.

Таблиця Б.21

Хімічний склад арматурної сталі за ASTM A706/A706M-90

Вид аналізу	Масова частка хімічних елементів, %, не більше				
	C	Mn	Si	S	P
За ковшовою пробою	0,30	1,50	0,50	0,045	0,035
В готовому прокаті	0,33	1,56	0,55	0,053	0,043

Вуглецевий еквівалент, який визначають за формулою (Б.4), повинен бути не більше 0,55%:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{40} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr}{10} + \frac{Mo}{50} + \frac{V}{10}. \qquad (Б.4)$$

Арматурний прокат виготовляють класу 60(400) з такими механічними властивостями:

– границя текучості, мінімальна, МПа (Н/мм^2) – 400;

– границя текучості, максимальна, МПа (Н/мм^2) – 540;

– тимчасовий опір, мінімальний, МПа (Н/мм^2) – 550;

– відносне подовження на базі 200 мм, мінімальне, %, для прутків номерів: 10, 15 і 20 – 14; 25, 30 і 35 – 12; 45 і 55 –10.

Відношення тимчасового опору до границі текучості повинно бути не менше 1,25.

Діаметр оправки при випробуванні на згинання на 180° для стержнів номерів 10 і 15 складає 3d, 20 і 24 – 4d, 30 і 35 – 6d, 45 і 55 – 8d, де d – номінальний діаметр.

ASTM A722-90. Прутки з високоміцної сталі для попередньо напруженого бетону (США).

Прутки виготовляють гладкими (тип I) і періодичного профілю (тип II) з сталі з масовою часткою (не більше) фосфору 0,040% і сірки – 0,050%. Тимчасовий опір розриванню – не менше 1035 МПа (Н/мм^2).

Прутки типу I виготовляють діаметрам 19, 22, 25, 29, 32 і 35 мм; типу II – номінальним діаметром 15, 20, 26, 32 і 36 мм.

Прокат випробуюють на згинання до 135°, діаметр оправки для стержнів діаметром 15–26 мм складає 6 діаметрів стержня, діаметром більше 26 мм – 8 діаметрів стержня.

Границя текучості стержнів типу I повинна бути не менше 85% тимчасового опору, типу II – 80%. Подовження на базі 20 діаметрів повинно бути не менше 4%, на базі 10 діаметрів – 7%.

JIS G3112:1987. Сталь для армування бетону (Японія).

За промисловим стандартом Японії методом гарячого прокатування виробляють арматурну гладку сталь і сталь періодичного профілю в прутках і мотках.

Круглий гладкий арматурний прокат виготовляють двох видів – SR 24 і SR 30, прокат періодичного профілю п'яти видів – SD 30A, SD 30B, SD 35, SD 40 і SD 50.

Хімічний склад сталі, з якого виготовляють арматурний прокат, наведено в табл. Б.22.

Таблиця Б.22

Хімічний склад арматурного прокату за JIS G3112:1987

Позначення	Масова частка хімічних елементів за плавочним аналізом ковшової проби, не більше, %					
	C	Si	Mn	P	S	C+Mn/6
SR 24	–	–	–	0,050	0,050	–
SR 30	–	–	–	0,050	0,050	–
SD 30A	–	–	–	0,050	0,050	–
SD 30B	0,27	0,55	1,50	0,040	0,040	–
SD 35	0,27	0,55	1,60	0,040	0,040	0,50
SD 40	0,29	0,55	1,80	0,040	0,040	0,55
SD 50	0,32	0,55	1,80	0,040	0,040	0,60

Механічні властивості арматурного прокату наведені в табл. Б.23.

Таблиця Б.23

Механічні характеристики арматурного прокату за JIS G3112:1987

Позначення	Границя текучості (фізична чи умовна), МПа (Н/мм²)	Тимчасовий опір, МПа (Н/мм²)	Відносне подовження, %, min, в залежності від діаметра оправки	Кут вигину при діаметрі оправки від 1,5 до 2,5 $d_н$, град
SR 24	235, min	380–520	20–24	180
SR 30	295, min	440–600	18–20	180
SD 30A	295, min	440–600	16–18	180
SD 30B	295–390	440, min	16–18	180
SD 35	345–440	490, min	18–20	180
SD 40	390–510	560, min	16–18	180
SD 50	490–625	620, min	12–14	90

Арматурний прокат періодичного профілю виготовляють мірної довжини: 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0 і 12 м.

На поверхні гладкого прокату і періодичного профілю не повинно бути шкідливих дефектів.

Для прокату періодичного профілю використовують прокатне маркування. Виключення складає діаметр 6 мм і ті випадки, коли найменування виробника можна визначити за видом профілю.

ДОДАТОК В
(обов'язковий)

КЛАСИ І МАРКИ СТАЛЕВОГО АРМАТУРНОГО ПРОКАТУ

Клас арматурного прокату	Номінальний діаметр, мм	Марка сталі	Вид арматури	Нормативний документ
1	2	3	4	5
А-І(А240)	6-40	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, ВСт3кп, ВСт3пс, ВСт3сп	гарячекатана гладка, діаметром до 12 мм включно поставляється в мотках чи стержнях, більших діаметрів – в стержнях	ГОСТ 5781
	6-18	ВСт3Гпс		
А240С	5,5-40	Ст3сп, Ст3пс, Ст3кп	гарячекатана гладка	ДСТУ 3760
А-ІІ(А300)	10-40	ВСт5сп, ВСт5пс	гарячекатана періодичного профілю, діаметром до 12 мм включно поставляється в мотках чи стержнях, більших діаметрів – в стержнях	ГОСТ 5781
	40-80	18Г2С		
Ас-ІІ(Ас300)	10-32	10ГТ	стержньова гарячекатана періодичного профілю	ГОСТ 5781
А-ІІІ(А400)	6-40	35ГС, 25Г2С	гарячекатана періодичного профілю, діаметром до 10 мм включно поставляється в мотках чи стержнях, більших діаметрів – в стержнях	ГОСТ 5781
	6-22	32Г2Рпс		
А400С	6-40	Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст5сп, Ст5пс, 25Г2С, 35ГС	стержньова термомеханічно зміцнена періодичного профілю; гарячекатана періодичного профілю	ДСТУ 3760
Ат400С	6-40	Ст3сп, Ст3пс	термомеханічно зміцнена періодичного профілю, діаметром 6 і 8 мм поставляється в мотках (допускається діаметром 10 мм), більших діаметрів – в стержнях	ГОСТ 10884
А500С	6-40	Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гпс, 25Г2С	стержньова термомеханічно зміцнена періодичного профілю	ДСТУ 3760

1	2	3	4	5
Ат500С	6-40	Ст5сп, Ст5пс	термомеханічно зміцнена періодичного профілю, діаметром 6 і 8 мм поставляється в мотках (допускається діаметром 10 мм), більших діаметрів – в стержнях	ГОСТ 10884
A-IV(A600)	10-18	80С	стержньова гарячекатана періодичного профілю	ГОСТ 5781
	10-32	20ХГ2Ц		
А600	10-32	20ГС	стержньова термомеханічно зміцнена періодичного профілю	ДСТУ 3760
А600С	10-32	25Г2С, 35ГС		
А600К	10-40	10ГС2, 08Г2С		
Ат600	10-40	20ГС	стержньова термомеханічно зміцнена періодичного профілю, допускається діаметром 10 мм в поставляти в мотках	ГОСТ 10884
Ат600С		25Г2С, 35ГС, 28С, 27ГС		
Ат600К		10ГС2, 08Г2С, 25С2Р		
A-V(A800)	10-32	23Х2Г2Т	стержньова з низькотемпературним відпуском періодичного профілю	ГОСТ 5781
А800	6 40	20ГС, 20ГС2, 08Г2С, 10ГС2	стержньова термомеханічно зміцнена періодичного профілю	ДСТУ 3760
А800К		35ГС		
А800СК		20ХГС2		
Ат800	10-32	20ГС, 20ГС2, 08Г2С, 10ГС2, 28С, 25Г2С, 22С	стержньова термомеханічно зміцнена періодичного профілю, за згодою з виробником – гладкого профілю	ГОСТ 10884
	18-32	35ГС, 25С2Р, 20ГС2		
Ат800К	18-32	35ГС, 25С2Р		
A-VI(A1000)	10-22	22Х2Г2АЮ, 22Х2Г2Р, 20Х2Г2СР	стержньова з низькотемпературним відпуском або з термомеханічною обробкою, періодичного профілю	ГОСТ 5781
А1000	6 40	25Г2С, 20ХГС2	стержньова термомеханічно зміцнена періодичного профілю	ДСТУ 3760
Ат1000	10-32	20ГС, 20ГС2, 25С2Р	стержньова термомеханічно зміцнена періодичного профілю, за згодою з виробником – гладкого профілю	ГОСТ 10884
Ат1000К	10-32	20ХГС2		

1		2	3	4	5
Ат1200		10-32	30ХС2	стержньова термомеханічно зміцнена періодичного профілю, за згодою з виробником – гладкого профілю	ГОСТ 10884
Вр-І		3; 4; 5	сталі групи Ст3 (Ст3сп, Ст3пс, Ст3кп, Ст3Гпс, Ст3Гсп)	дріт періодичного профілю	ГОСТ 6727
В-ІІ	В1500	3; 5[1)]	вуглецеві сталі марок 65, 70, 75, 80 і 85 за ГОСТ 14959	дріт гладкого профілю	ГОСТ 7348
	В1400	4; 5; 6			
	В1300	7			
	В1200	8			
Вр-ІІ	Вр1500	3	вуглецеві сталі марок 65, 70, 75, 80 і 85 за ГОСТ 14959	дріт періодичного профілю	ГОСТ 7348
	Вр1400	4; 5; 6			
	Вр1300	7			
	Вр1200	8			
	К7-1500	6	вуглецеві сталі марок 70, 75, 80 і 85 за ГОСТ 14959	канати	ГОСТ 13840
	К7-1500	9			
	К7-1500	12			
	К7-1400	15			

ДОДАТОК Г
(обов'язковий)

КОНСТРУКЦІЯ, ТИПИ, СПОСОБИ ЗВАРЮВАННЯ, УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ОСНОВНІ РОЗМІРИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Таблиця Г.1

Найменування арматурних виробів: Сітки, плоскі і просторові каркаси

Розміри в мм

Тип з'єднання, спосіб зварювання ГОСТ 14098		Клас арматури меншого діаметру	$d_н$, мм	Величина $h/d_н$, що забезпечує міцність не менше тієї, яку вимагає ГОСТ 10922 для з'єднання з співвідношенням діаметрів $d'_н/d_н$: 1,00	0,50	0,33	0,25	Мінімальна величина $h/d_н$, що забезпечує монтажну міцність	α°	Експлуатаційні характеристики
К1-Кт	Хрестоподібне контактно-точкове двох стержнів	Вр-І	3–5	0,35–0,50	0,28–0,45	0,24–0,40	0,22–0,35	0.17	30–90	Навантаження статичне типу сейсмічного і багатократно повторюваного. Температури вище і нижче нуля
		А-І(А240)	6–40	0,25–0,5	0,21–0,46	0,18–0,40	0,16–0,35	0,12		
К2-Кт	Хрестоподібне контактно-точкове трьох стержнів	А-ІІ(А300)	10–40	0,33–0,60	0,28–0,52	0,24–0,46	0,22–0,42	0,17		
		А-ІІІ(А400)	6–40	0,4–0,80	0,35–0,70	0,30–0,62	0,28–0,55	0,2		
		Ат-ІІІС (Ат400С)	10–28	0,4–0,60	0,35–0,46	0,30–0,46	0,28–0,42			
		А-IVC (А600С), Ат-IVK (Ат600К), Ат-V (Ат800)	10–28	0,4–0,60	0,35–0,46	0,30–0,46	0,28–0,42	–		

Закінчення таблиці Г.1

Розміри в мм

К3-Рр	Хрестоподібне дугове ручне з прихватками	(схема)	Клас арматури	Марка сталі	$d_н$; $d'_н$	l	b
			А-I(А240)	–	10–40	0,5 $d'_н$, але не менше 8 мм	0,3 $d'_н$, але не менше 6 мм
			А-II(А300)	Ст5пс	10–18		
				Ст5сп	10–28		
				10ГТ	10–32		
			А-III(А400)	25Г2С	10–28		
			Ат-IIIС (Ат400С)	Ст5пс, Ст5сп	10–32		
			Ат-IVС (Ат600С)	25Г2С, 28С, 27ГС			
			Ат-IVК (Ат600К)	08Г2С, 10ГС2			
			Ат-V(Ат800)	20ГС			

Статичне навантаження, плюсові температури

Таблиця Г.2

Тип з'єднання, спосіб зварювання ГОСТ 14098		Найменування арматурних виробів Стержні мірної довжинн і утнлізація відходів	Експлуатаційні характеристики
С1-Ко	Стикове контактне стержнів однакового діаметра	(див. таблицю нижче)	Статичне навантаження типу сейсмічного. Температура вище і нижче нуля
С2-Кн	Стикове контактне стержнів різного діаметра		

Клас арматури	$d_н$	D	$d'_н/d_н$
А-I(А240), А-II(А300), А-III(А-400)	10–18	$\geq 1{,}3d'_н$	0,85–1
	20–40	$\geq 1{,}2d'_н$	
А-IV(А600), А-V(А800)[1], А-VI(А1000)	10–22	$\geq 1{,}2d'_н$	
Ат-IIIС(Ат400С)	10–28	$\geq 1{,}3d'_н$	
Ат-IVС(Ат600С)			
Ат-VС(Ат800С)[2]		$\geq 1{,}2d'_н$	
Ат-IVК(Ат600К)[3], Ат-VСК(Ат800СК)[3]			

Примітки: 1. Арматура класу А-V(А800) діаметром до 32 мм.
2. Арматура класу Ат-V(Ат800) тільки з використанням локальної термічної обробки.
3. Арматура класів Ат-IVК(Ат-600К) і Ат-VСК(Ат-800СК) тільки для сталі марки 20ХГС2.

Закінчення таблиці Г.2

С3-Км	Контактне стержнів однакового діаметра з наступною механічною обробкою	Ескіз (позначення: $d_н$, D, l, $l/2$)	Статичне навантаження типу сейсмічного і навантаження, що багатократно повторюється. Температура вище і нижче нуля
С4-Кп	Контактне стержнів однакового діаметра з попередньою механічною обробкою	Ескіз (позначення: $d_н$, D, l)	

Клас арматури	$d_н$	D	D'	l	l'
А-II(А300), А-III(А400)	10–40	$\geq 1,2d_н$	$d_{-0,1}$	$2d_н \pm 0,2d_н$	$(1-1,5)d_н$
А-IV(А600), А-V(А800)[1], А-VI(А1000)	10–22				
Ат-IIIС(Ат400С)	10–28				
Ат-IVС(Ат600С)					
Ат-V(Ат800)[2]					
Ат-IVК(Ат600К)[3], Ат-VСК(Ат800СК)[3]					

Примітки: 1. Арматура класу Ат-V(Ат800)діаметра до 32 мм.
2. Арматура класу Ат-V(Ат800) тільки з використанням локальної термічної обробки.
3. Арматура класу Ат-IVК(Ат600К) і Ат-VСК(Ат800СК) тільки для сталі марки 20ХГС2.
4. l' – довжина проточки для зварювання.

Таблиця Г.3

Тип з'єднання, спосіб зварювання ГОСТ 14098		Найменування арматурних виробів Закладні деталі	Умови експлуатації
Т1-Мф	Дугове механізоване під флюсом	*Розміри, мм* (див. таблицю нижче)	Навантаження статичне і сейсмічного типу. Температури вище і нижче нуля
Т2-Рф	Дугове ручне з малою механізацією під флюсои		

Розміри, мм

Клас арматури	$d_н$	S	D	g	β°	$S/d_н$	α°
А-І(А240)	8–40	≥ 4	$(1{,}5–2{,}0)d_н$	3–10	15	≥ 0,50	85–90
А-ІІ (А300)	10–25					≥ 0,55	
	28–40					≥ 0,70	
А-ІІІ (А400)	8–25	≥ 6				≥ 0,65	
	28–40					≥ 0,75	
Ат-ІІІС (Ат400С)	20–18					≥ 0,65	

Примітки: 1. З'єднання типу Т2 з арматури класу Ат-ІІІС(Ат500) не допускаються.
2. Тут і нижче β – це ухил торця стержня після рубки ножицями.

Продовження таблиці Г.3

Т3-Мж — Дугове механізоване під флюсом по елементу жорсткості (рельєфу)

Розміри, мм

Клас арматури	$d_н$	S	D	g	β°	$S/d_н$	α°	K	Dp	R
А-I (А240)	8–25	≥ 4	$(1,5–2,0)d_н$	5–15	≤ 15	≥ 0,4	85–90	$0,4d_н$	$(2,0–2,5)d_н$	$(2,0–2,5)d_н–S$
А-II (А300)	10–25					≥ 0,4				
А-III (А400)	8–25	≥ 6				≥ 0,5				
Ат-IIIС (Ат400С)	8–14					≥ 0,5				

Статичне навантаження, типу сейсмічного і те, яке багатократно повторюється. Температура вище і нижче нуля

Т4-Му — Дугове механізоване під флюсом під кутом до площини пластини

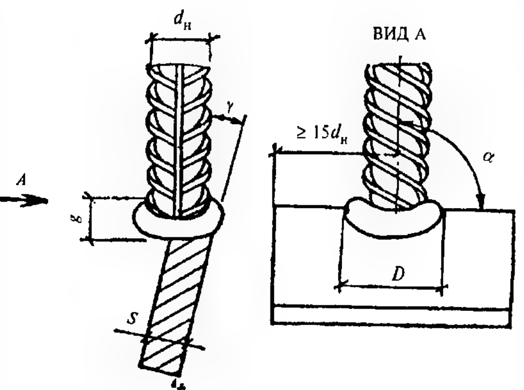
Розміри, мм

Клас арматури	$d_н$	S	D	g	β°	$S/d_н$	α°	γ°
А-I (А240)	8–16	≥ 4	$(1,5–2,0)d_н$	3–6	≤ 15	≥ 0,50	85–90	25–85
	18–25							60–85
А-II (А300)	10–16					≥ 0,55		25–85
	18–25							60–85
А-III (А400)	8–16	≥ 6				≥ 0,65		25–85
	8–25							60–85

Статичне навантаження. Температура вище нуля

Продовження таблиці Г.3

Т5-Мт — Дугове механізоване під флюсом під кутом до торця пластини

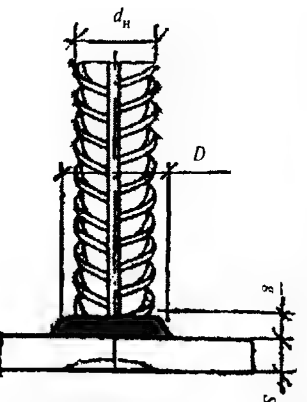


Розміри, мм

Клас арматури	$d_н$	S	D	g	β°	$S/d_н$	α°	γ°
А-I (А240)	8–16	≥ 4	(1,5–2,0)$d_н$	3–6	≤ 15	≥ 0,50	85–90	5–25
А-II (А300)	10–16					≥ 0,55		
А-III (А400)	8–16	≥ 6				≥ 0,65		

Статичне навантаження. Температура вище нуля

Т6-Кс — Контактне рельєфне опором



Розміри, мм

Клас арматури	$d_н$	S	D	g	D_p	R	S/D	K
А-I (А240)	6–20	≥ 4	1,4$d_н$	0,2$d_н$	2,0$d_н$	2,0$d_н$	≥ 0,4	0,5$d_н$
А-II (А300)	10–20		1,5$d_н$		2,2$d_н$	2,2$d_н$		0,6$d_н$
А-III (А400)	6–20	≥ 6	1,6$d_н$				≥ 0,5	0,7$d_н$

Статичне навантаження, типу сейсмічного і те, яке багатократно повторюється.

Примітка. R – радіус рельєфу, D_p –діаметр рельєфу до зварювання

Продовження таблиці Г.3

Тип	Спосіб зварювання	Умови
Т7-Ко	Контактне безперервним оплавленням	Статичне навантаження. Температура вище і нижче нуля

Клас арматури	$d_н$	S	D	β°	$S/d_н$	α°
А-I(А240), А-II(А300)	10–20	≥ 4	≥ $1,2d_н$	≤15	≤ 0,40	85–90
А-II(А300), А-III(А400)	10–20	≥ 6	≥ $1,3d_н$		≤ 0,50	
	22–40	≤ 12				
Ат-IIIС (Ат400С)	10–22	≥ 6				

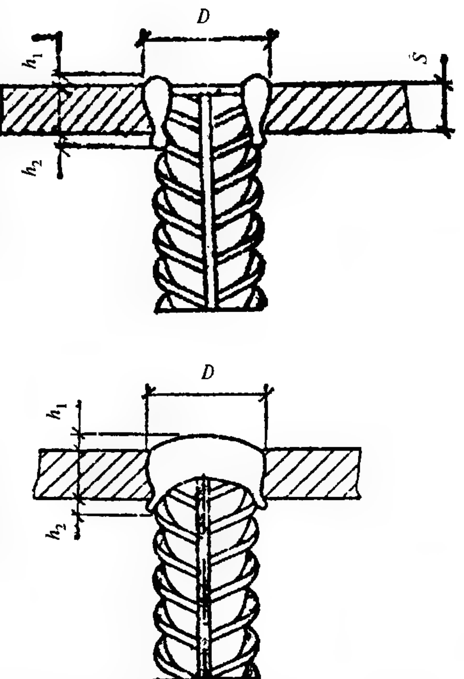
Тип	Спосіб зварювання	Умови
Т8-Мв	Дугове механізоване у вуглекислому газі в виштампований отвір	Статичне навантаження. Температура вище і нижче нуля
Т9-Рв	Дугове ручне у виштампований отвір	

Розміри, мм

Клас арматури	$d_н$	S	$D_о$	K	$h_{св}$	$d_о$	$S/d_н$
А-I(А240)	10–36	≥ 4	$2d_н$	$0,5d_н + 0,8S$	$0,5d_н$	$d_1 + (1–3)$	≥ 0,3
А-II(А300)				$0,6d_н + 0,8S$	$0,6d_н$		
А-III (А400)				$0,7d_н + 0,8S$	$0,7d_н$		
Ат-IIIС (Ат400С)	10–22			$0,7d_н + 0,8S$	$0,7d_н$		

Примітка. $d_о$ – тут і нижче мінімальний отвір в пластині.

Продовження таблиці Г.3

Тип	Спосіб зварювання	Ескіз	Клас арматури	$d_н$	S	$d_о$	$D_о$	$S/d_н$	h_1	h_2	D	Умови
Т10-Мз	Дугове механізоване в CO_2 в цекований отвір		А-I (А240), А-II (А300), А-III (А400), Ат-IIIС (Ат400С)	12	≥ 8	$d_1 + 2$	$d_о + 10$	≥ 0,50	0–1	4–5	22–26	Статичне навантаження. Температура вище і нижче нуля
				14					0–1	4–5	26–30	
				16					0–1	4–5	28–32	
Т11-Мс	Дугове механізоване в CO_2 в отвір			18	≥ 10				0–2	5–6	30–35	
				20					0–2	5–6	35–42	
				22	≥ 12				0–2	5–6	38–44	
				25					0–2	5–6	46–48	

Розміри, мм

Примітки: 1. Арматура класу Ат-IIIС(Ат400) може використовуватись в з'єднаннях типу Т10-Мз і Т11-Мс діаметром до 18 мм.

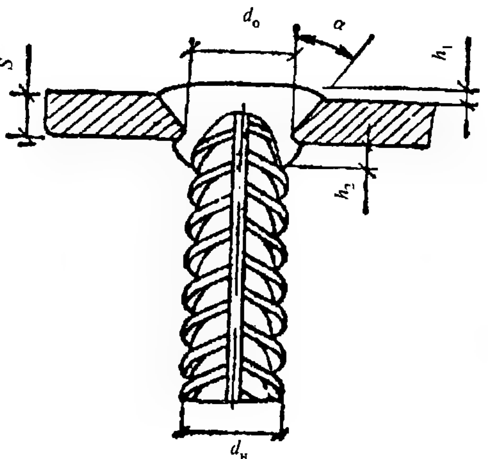
2. Для А-III(А400) значення $S/d_н \geq 0,55$.

3. $d_о$ і $D_о$ – отвори в пластині.

Продовження таблиці Г.3

Т12-Рз	Дугове ручне валковими швами в реззенкований отвір	Статичне навантаження. Температура вище і нижче нуля

Розміри, мм



Клас арматури	$d_н$	S	$d_о$	$\frac{\text{при } S = 6-7}{\text{при } S = 8-26}$	α°	$S/d_н$	h_1	h_2 при $d_н \geq 8$
А-І (А240)	8–40	≥ 6	$(d_1+2)\pm2$	$\frac{z=1-2}{z=2-3}$	50±5	≥ 0,50	≤ 2	4±1
А-ІІ (А300)	10–40	≥ 8				≥ 0,65		
А-ІІІ (А400)	8–40	≥ 8				≥ 0,75		
Ат-ІІІС (Ат400С)	10–18	≥ 8						

Примітка. При $d_н \leq 12$ допускається виконувати з'єднання без проварювального шва. Притуплення в нижній частині зенківки.

Продовження таблиці Г.3

Т13-Ри

Ванне одноелектродне в інвентарній формі

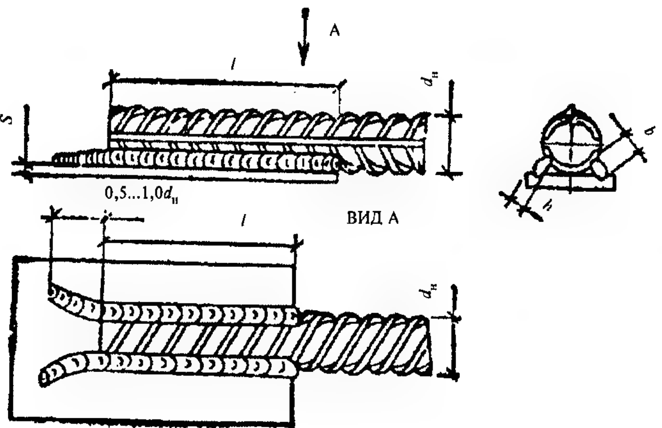
Клас арматури	$d_н$	l	C	C_1	h_1	α°	$S/d_н$
А-I(А240), А-II(А300), А-III(А400)	16	$\leq d_н$	30	24	2–3	15–20	$\geq 0{,}50$
	18		32	27			
	20		34	29			
	22	$\leq 0{,}8d_н$	38	31			
	25		41	33			
	28		44	38			
	32	$\leq 0{,}5d_н$	52	44			
	36		57	47			
	40		61	52			

Статичне навантаження.
Температура вище і нижче нуля

Продовження таблиці Г.3

Н1-Рш

Дугове ручне швами



Розміри, мм

Клас арматури	$d_н$	S	l	b	h_1
A-I(A240)	10–40	≥ 0,3$d_н$, але ≥ 4	$3d_н/4d_н$	0,5$d_н$, але ≥ 8	0,25$d_н$, але ≥ 4
A-II(A300), A-III(A400)					
A-IV(A600)	10–22	≥ 0,4$d_н$, але ≥ 5	5$d_н$		
A-V(A800)	10–32				
A-VI(A1000)	10–22				
Ат-IIIC (Ат400C)	10–32	≥ 0,3$d_н$, але ≥ 4	4$d_н$		
Ат-IVC (Ат600C)	10–32	≥ 0,4$d_н$, але ≥ 5	5$d_н$		
Ат-V(Ат800)					
Ат-IVK (Ат600K),					
Ат-VCK (Ат800CK)					

Статичне навантаження і типу сейсмічного. Температура вище і нижче нуля

Примітка. З'єднання арматури класу Ат-IVK(Ат600K) і Ат-VCK(Ат800CK) допускаються тільки з сталі марки 20ХГС2, а класу Ат-V(Ат800) – марки 20ГС

Продовження таблиці Г.3

Статичне навантаження і типу сейсмічного. Температура вище нуля

Н2-Кр — Контактне по одному рельєфу на пластині

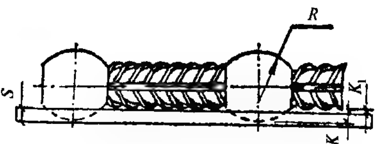
Клас арматури	$d_н$	R	K	n	m	K_1	S	α°
А-І (А240)	6–16	$1{,}4d_н$	$0{,}4d_н$	$1{,}8d_н$	n+10	$(0{,}10–0{,}15)d_н$	$\geq 0{,}3d_н$	90
А-ІІ (А300)	10–16						S_{min} = 4 мм	
А-ІІІ (А400), Ат-ІІІС (Ат400С)	6–16	$1{,}6d_н$		$2{,}0d_н$				

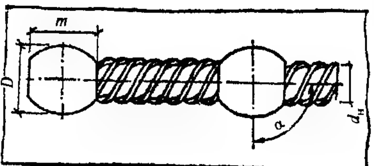
Н3-Кп — Контактне по двом рельєфам на пластині

Клас арматури	$d_н$	R	K	n	m	K_1	S	α°
А-І (А240)	12–16	$1{,}4d_н$	$0{,}4d_н$	$1{,}8d_н$	n+10	$(0{,}10–0{,}15)d_н$	$\geq 0{,}3d_н$	90±3
А-ІІ (А300)								
А-ІІІ (А400), Ат-ІІІС (Ат400С)		$1{,}6d_н$		$2{,}0d_н$			S_{min} = 4 мм	

Продовження таблиці Г.3

Н4-Ка	Контактне по двом рельєфам на арматурі	Статичне навантаження і типу сейсмічного. Температура вище нуля





Розміри, мм

Клас арматури	$d_н$	R	k	D	m	k_1	s	α°
А-I(А240)	8–16	$1,4d_н$	$0,35d_н$	$1,7d_н$	$1,8d_н$	$(0,10–0,15)d_н$	4–6	90±3
А-II(А300)	10–16							
А-III(А400)	8–16	$1,6d_н$	$0,4d_н$	$1,8d_н$	$1,9d_н$			

Таблиця Г.4

Тип з'єднання, спосіб зварювання ГОСТ 14098-85		Найменування арматурних виробів	Експлуатаційні характеристики
		Стержні мірної довжини і анкери для натягу арматури	
С21-Рн	Дугове ручне швами з накладками з стержнів	(див. нижче)	–

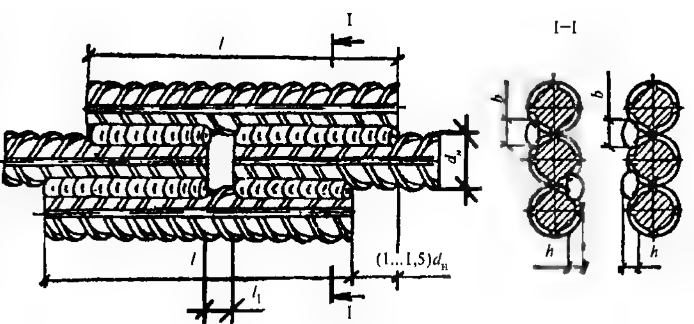
Розміри, мм

Клас арматури	$d_н$	l	l_1	b	h
А-I(А240)	10–40	$6d_н$	$0,5d_н$, але ≥ 10	$0,5d_н$, але ≥ 8	$0,5d_н$, але ≥ 4
А-II(А300)		$8d_н$			
А-III(А400)					

Продовження таблиці Г.4

С21-Рн

Дугове ручне швами з накладками з стержнів



Розміри, мм

Клас арматури	$d_н$	l	l_1	b	h
А-I(А240)	10–40	$6d_н$	$0{,}5d_н$, але ≥ 10	$0{,}5d_н$, але ≥ 8	$0{,}5d_н$, але ≥ 4
А-II(А300), А-III(А400)		$8d_н$			
А-IV(А600)	10–22	$10d_н$			
А-V(А800)	10–32				
А-VI(А1000)	10–22				
Ат-IIIС (Ат400С)	6–32	$8d_н$			
Ат-IVC(Ат600С)	10–32	$10d_н$			
Ат-V(Ат800)					
А-IVK(А600К)					
Ат-VCK(Ат800СК)					

Примітки. 1. З'єднання арматури класів А-IV(А600), А-V(А800), А-VI(А1000), Ат-IVK(Ат600К), Ат-VCK(Ат800СК), Ат-V(Ат800) слід виконувати зі зміщеними накладками.

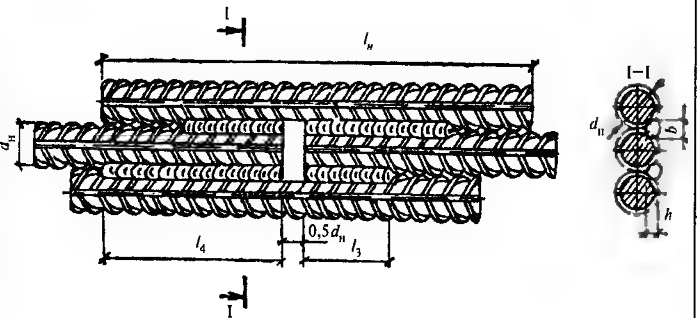
2. В заводських умовах допускається використовувати зварювання в CO_2, крім сталі класів А300 та Ат400С; в монтажних – самозахисним порошковим дротом.

3. Допускаються двобічні шви довжиною $4d_н$ для з'єднання арматури класів А-I(А240), А-II(А300), А-III(А400).

4. З'єднання арматури класу Ат-IVK(Ат600К) допускаються тільки з сталі марки 20ХГС2, а класу Ат-V(Ат800) марки 20ГС.

Продовження таблиці Г.4

С22–Ру	Дугове ручне швами з подовженими накладками з стержнів	Статичне навантаження і типу сейсмічного. Температура вище і нижче нуля



Розміри, мм

Клас арматури	$d_н$	$l_н$	l_3	l_4	b	h
Ат-V (Ат800)	14	$28,5d_н$	$5d_н$	$7d_н$	$0,5d_н$, але ≥ 8	$0,25d_н$, але ≥ 4
	16	$26,5d_н$				
	18	$24,5d_н$				
	20; 22	$21,5d_н$	$4,5d_н$	$6,5d_н$		
	25; 28	$21,0d_н$		$6,0d_н$		
Ат-VI (Ат1000)	14	34,5	$5,5d_н$	$8,5d_н$		
	16	29,5		$7,5d_н$		
	18	25,5				
	20,22					
	25,28	25,0		$7,0d_н$		

Закінчення таблиці Г.4

С23-Рэ	Дугове ручне швами без додаткових технологічних елементів	Розміри, мм					Статичне навантаження. Плюсове навантаження
		Клас арматури	$d_н$	$l = l_н$	b	h	
		А-I(А240)	10–40	$6d_н$	$0,5d_н$, але ≥ 8	$0,25d_н$, але ≥ 4	
		А-II(А300), А-III(А400)	10–25	$8d_н$			
		Ат-IIIС(Ат400С)	10–18				
		Ат-IVC(Ат600С)	10–20	$10d_н$			

Примітка. Допускаються двобічні шви довжиною $4d_н$ для з'єднань арматури класів А-I(А240) і А-II(А300) (з сталі марки 10 ГТ).

Таблиця Г.5

№ п/п	Тип зварного з'єднання за ГОСТ 14098	Позначення зварного з'єднання за ГОСТ 14098	Номінальний діаметр, мм
1	Хрестоподібне	К1-Кт	8–32
		К3-Рр	10–32
2	Стикове	С1-Ко	10–32
		С3-Км	
		С14-Мп	20–32
		С15-Рс	
		С17-Мп	
		С19-Рм	
		С25-Мп	
		С26-Рс	
		С21-Рн	10–32
		С23-Ре	10–18
3	Напускне	Н1-Рш	10–32
		Н2-Кр	6–16
		Н3-Кп	12–16
4	Таврове	Т2-Рф	10–14
		Т10-Мс	12–18
		Т11-Мц	
		Т12-Рз	8–18

Примітки. 1. Стикові зварні з'єднання робочої арматури не рекомендується розташовувати в розтягнутій зоні вигнутих і позацентрово розтягнутих елементів в зоні дії максимальних зусиль і місцях повного використання арматури.

2. В лінійних елементах, переріз яких повністю розтягнуто, використання зварних стикових з'єднань не рекомендується.

3. Стикові зварні з'єднання в розтягнутій зоні вигнутих і позацентрово розтягнутих елементів необхідно розташовувати в розбіг. При цьому, площа поперечного перерізу робочих стержнів, що стикують в одному місці, не повинна перевищувати 40% загальної площі поперечного перерізу розтягнутої арматури.

4. Контактно точкове зварювання хрестоподібного з'єднання типу К1-Кт слід використовувати при відношенні діаметрів $d'_н/d_н = 0{,}33 - 1{,}0$ ($d'_н$ – номінальний діаметр меншого стержня, $d_н$ – номінальний діаметр більшого стержня в зварному з'єднанні). Значення відносної осадки $h/d'_н$ приймають за табл. Г.6, а зусилля стискання електродами – за табл. Г.7.

Таблиця Г.6

$d'_н$, мм	Значення $h/d'_н$, що забезпечує міцність не менше, тієї, що відповідає вимогам ГОСТ 10922 для з'єднань з співвідношенням діаметрів $d'_н/d_н$			Мінімальне значення $h/d'_н$, що забезпечує ненормовану міцність
	1,00	0,50	0,33	
3–28	0,40–0,60	0,35–0,46	0,30–0,46	0,20

Таблиця Г.7

$d'_н/d_н$	Рекомендоване зусилля стискання електродами Рэ,тс, при діаметрі меншого стержня $d'_н$													
	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28
1,00	0,1	0,14	0,18	0,24	0,41	0,53	0,76	0,88	1,1	1,22	1,4	1,6	1,8	2,1
0,5–0,33	0,1	0,1	0,1	0,12	0,20	0,25	0,40	0,44	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	1,05

5. Контактно стикове зварювання з'єднань типу С1-Ко і С3-Км необхідно виконувати при відношенні діаметрів $d'_н/d_н$ = 0,85 – 1,0 тільки методом безперервного оплавлення без попереднього підігрівання.

При зварюванні встановлену довжину $l_у$ необхідно приймати рівною $(0,6 - 1,0)d_н$, величину оплавлення – $l_{опл} = (0,3 - 0,5)d_н$. Діаметр грату D для зварного з'єднання типу С1-Ко повинен бути не менше $1,2d'_н$.

6. Ванно-шовне зварювання стикових з'єднань типів С14-Мп, С15-Рс, С17-Мп, С19-Рм, С25-Мп, С26-Рс за ГОСТ 14098 необхідно виконувати при довжині скоби-накладці, що залишається $l_н = 4d_н + l_1$ (де l_1 – величина зазору між торцями стержнів, що приймається за ГОСТ 14098).

Зварні з'єднання повинні містити чотири флангових шва шириною $(0,35 - 0,40)d_н$, що виконуються після повного остигання основного шва в шаховому порядку, починаючи з країв скоби-накладки до звареного раніше в центрі стику.

7. Дугове зварювання стикового з'єднання типу С21-Рн необхідно виконувати однобічними протяжними швами, які наплавлені в шаховому порядку.

Як парні накладки повинні використовуватись стержні того ж класу і діаметру, що і арматура, яка стикується. Довжина стержнів накладок повинна бути не менше $l_н = 10d_н + l_1$.

8. Дугове зварювання стикового з'єднання внапусток типу С23-Рэ необхідно виконувати при довжині напустки $l_н$ не менше $10d_н$.

Зварювання необхідно починати від країв напустка, відступивши від них на відстані $(0,5 - 1,0)d_н$, направляючи шов до центру з'єднання з заварюванням кратеру на відстані $5d_н$ від торців стержнів. Краї напустки повинні залишатися не звареними.

9. Дугове зварювання з'єднання внапусток типу Н1-Рш необхідно виконувати при довжині напустку не менше $5d_н$.
Зварювання необхідно починати від торця пластини, відступив на відстань $(0,5 - 1,0)d_н$, з виведенням кінця шва і можливого кратеру на площину пластини в місці закінчення шва. Краї напустки у торця пластини повинні залишатися не завареними. Інший шов з'єднання необхідно накласти після повного остигання першого.

10. Зварювання таврового з'єднання типу Т2-Рф необхідно виконувати при діаметрах стержня не більш 14 мм.

ДОДАТОК Д
(обов'язковий)

ВІДХИЛЕННЯ РОЗМІРІВ АРМАТУРНИХ ВИРОБІВ ВІД ПРОЕКТНИХ

Розміри в мм

Лінійні розміри виробу і їх номінальні значення	Граничні відхилення розмірів виробів, що використовують в залізобетонних конструкціях				
	збірних при їх класі точності				монолітних
	5	6	7	8	
1	2	3	4	5	6
1. Довжина окремих стержнів напружуваної арматури, відстані між крайніми стержнями за довжиною, шириною чи висотою виробу при їх значеннях:					
до 60 включно	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0	
понад 60 до 120 включно	±1,5	±2,0	±3,0	±5,0	
понад 120 до 250 включно	±1,5	±2,5	±4,0	±6,0	
понад 250 до 500 включно	±2,0	±3,0	±5,0	±8,0	
понад 500 до 1000 включно	±2,5	±4,0	±6,0	±10	
понад 1000 до 1600 включно	±3,0	±5,0	+6,0 -10	+10 -14	
понад 1600 до 2500 включно	±4,0	±6,0	+8,0 -12	+12 -18	
понад 2500 до 4000 включно	±5,0	±8,0	+10 -14	+15 -25	+15 -30
понад 4000 до 8000 включно	±6,0	±10	+12 -18	+20 -30	+20 -40
понад 8000 до 16000 включно	±8,0	±12	+15 -25	+25 -35	+30 -50
понад 16000	±10	±15	+20 -30	+35 -45	+45 -65
2. Відстані від крайнього стержня одного напряму до торця стержня іншого напряму (довжина випуску стержня) в арматурних виробах при довжині випуску					
до 60 включно	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0	
понад 60 до 120 включно	±1,5	±2,0	±3,0	±5,0	
понад 120 до 250 включно	±1,5	±2,5	±4,0	±6,0	
понад 250 до 500 включно	±2,0	±3,0	±5,0	±8,0	
понад 500 до 1000 включно	±2,5	±4,0	±6,0	±10	±12
понад 1000	±3,0	±5,0	±8,0	±12	±18
3. Відстані між двома сусідніми поздовжніми стержнями (окрім крайніх) в арматурних каркасах при його значеннях:	незалежно від класу точності конструкції				
до 60 включно	±4				±6
понад 60 до 120 включно	±5				±8

Закінчення додатка Д

1	2	3	4	5	6
понад 120 до 250 включно	±6				±10
понад 250 до 500 включно	±8				±12
понад 500 до 1000 включно	±10				±15
понад 1000	±12				±20
4. Довжина і ширина плоского елементу закладного виробу:					
до 250 включно	±1,5	±2.5	±4,0	±6,0	
понад 250 до 500 включно	±2,0	±3,0	±5,0	±8,0	
понад 500	±2,5	±4,0	±6,0	±10	
5. Теж саме, при рівності розмірів плоского елементу закладного виробу і поперечного перерізу залізобетонної конструкції:					
до 250 включно	-2,0	-3,0	-5,0		
понад 250 до 500 включно	-2,5	-4,0	-6,0		
понад 500	-3,0	-5,0	-8,0		
6. Відстань від краю плоского елементу закладного виробу до найближчої точки поверхні анкерного стержня					
до 60 включно	+1,5	+2,5	+4,0	+6,0	
понад 60 до 120 включно	+2,0	+3,0	+5,0	+8,0	
понад 120 до 250 включно	+2,5	+4,0	+6,0	+10	
понад 250	+3,0	+5,0	+8,0	+12	
7. Відстань між зовнішніми поверхнями плоских елементів закладних виробів закритого типу при його значенні:					
до 250 включно	±1,5	±2,5	±4,0	±6,0	
понад 250 до 500 включно	±2,0	±3,0	±5,0	±8,0	
понад 500	±2,5	±4,0	±6,0	±10	
8. Довжина анкерних стержнів закладних виробів відкритого типу при її значенні:					
до 250 включно	±10				
понад 250 до 500 включно	±12				
понад 500	±15				

Примітки. 1. Граничні відхилення довжини окремих стержнів напружуваної арматури, а також відстаней між крайніми стержнями за довжиною, шириною чи висотою виробу, довжини випуску стержнів наведено в таблиці для розмірів арматурних і закладних виробів, які відповідають габаритним розмірам конструкції.

Для інших розмірів цих виробів відхилення, вказаних параметрів, приймають за класом точності 8.

2. Клас точності залізобетонної конструкції приймають за стандартами, технічними умовами чи проектною документацією на конкретні конструкції.

При відсутності вказівок про клас точності залізобетонних конструкції, її визначають виходячи з граничних відхилень лінійних розмірів конструкції за ГОСТ 21779.

3. За номінальну відстань між стержнями приймають розмір між їх осями.

ДОДАТОК Ж
(обов'язковий)

ВІДХИЛЕННЯ РОЗМІРІВ І ПАРАМЕТРІВ ЗАКЛАДНИХ ВИРОБІВ ВІД ПРОЕКТНИХ

Розміри в мм

Геометричний параметр	Грапичне відхилення
1	2
1. Соосність стержнів в стикових з'єднаннях виконаних контактним зварюванням, при номінальному діаметрі стержнів, мм:	
10–28	$0,10d_н$
32–40	$0,05d_н$
45–80	$0,03d_н$
2. Теж, виконаних ванним зварюванням в інвентарних формах, ванно-шовним і дуговим на сталевій скобі-накладці, а також дуговим зварюванням багатошовними швами, при номінальному діаметрі стержнів, мм:	
20–28	$0,15d_н$
32–40	$0,10d_н$
45–60	$0,05d_н$
70–80	$0,03d_н$
3. Теж, виконаних дуговим зварюванням з накладками з стержнів (типів С21 і С22 за ГОСТ 14098), при арматурній сталі класів:	
А-І(А240), А-ІІ(А300) і Ас-ІІ(Ас300) діаметрами 10–40 мм	$0,3d_н$
А-ІІ(А300) діаметрами 45–80 мм, А-ІІІ(А400) діаметрами 10–40 мм, А-IV(А600) і А-VI(А1000) діаметрами 10–22 мм, Ат-IVC (Ат600С), Ат-IVK (Ат600К), А-V(А800) і Ат-V(Ат800) діаметрами 10–32 мм, Ат-IIIC (Ат500С) і Ат-VCK(Ат800СК) діаметрами 10–28 мм	$0,2d_н$
4. Створність накладок з стержнів і арматури, що стикується в стикових з'єднаннях типів С21 і С22 при номінальному діаметрі стержнів, мм:	
10–28	$0,5d_н$
32–40	$0,3d_н$
45–60	$0,2d_н$
70–80	$0,1d_н$
5. Симетричність розташування накладок з стержня і сталевої скоби-накладки відносно зварного стику в поздовжньому напрямку (за виключенням стиків зі зміщеними накладками) при довжині накладки:	
$2d_н$	$\pm0,10d_н$
$3d_н$	$\pm0,15d_н$
$4d_н$	$\pm0,20d_н$
$6d_н$	$\pm0,30d_н$
$8d_н$	$\pm0,40d_н$
$10d_н$	$\pm0,50d_н$

Закінчення додатка Д

1	2
6. Довжина накладки з стержня і сталевої скоби-накладки	$\pm 0{,}50d_н$
7. Довжина зварного шва в стикових з'єднаннях типу С22 за ГОСТ 14098	$\pm 0{,}50d_н$
8. Довжина напустки в з'єднаннях типів С23 і Н1 за ГОСТ 14098 при довжині напустки: $3d_н - 4d_н$ $5d_н - 6d_н$ $8d_н - 10d_н$	 $\pm 0{,}5d_н$ $+0{,}2d_н$ $+0{,}1d_н$
9. Ширина валкових швів при номінальному діаметрі стержнів, шо зварюються, мм: 10–16 18–80	 $+0{,}2d_н$ $-0{,}1d_н$ $\pm 0{,}1d_н$

Примітки. 1. При стиковому зварюванні стержнів різного діаметра, за номінальний приймають менший діаметр стержня.

2. $d_н$ – номінальний діаметр стержня.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аваков А. И. Упрочнение арматурной стали вытяжкой // Бетон и железобетон. – 1956. – № 6. – С. 220–222.

2. Аваков А. И. Холодноплющенная арматура периодического профиля для железобетона. – М.: Стройиздат, 1954. – 205 с.

3. Алексеев С. Н. Коррозия и защита арматуры в бетоне. – М.: Стройиздат, 1968.

4. Арматурный прокат для железобетонных конструкций и изделий. Справочное пособие / Под ред. Худика Ю. Т., Кекуха А. В. – Кривой Рог, 2003. – 118 с.

5. Астафьев А. С., Гуляев А. П., Щербаков О. Б. Влияние легирующих элементов на свариваемость високопрочних сталей // Сварочное производство. – 1963. – № 5. – С. 21–23.

6. Атаев С. С., Блещик Н. П. Технология и экономика объемно-блочного домостроения. – Минск, 1967.

7. Белобров И. К. Упрочнение арматурной стали вытяжкой // Бетон и железобетон. – 1959. – № 4. – С. 158–162.

8. Бердичевский Г. И., Булгакова М. Г. Режимы тепловой обработки предварительно напряженных изделий с учетом потерь напряжений в арматуре. Экспресс-информация № 22. – М.: ЦИНИС, 1962.

9. Бондаренко В. И., Пирогов В. А., Киреев Е. М. Холоднотянутая проволока повышенной прочности класса Вр-600 (Врп-1) // Бетон и железобетон. – 1990. – № 6. – С. 18–19.

10. Брискин Н. Я., Гуменюк В. С., Колоша А. С., Прохоров Л. И. Исследование изменчивости механических свойств и параметров профиля высокопрочной арматурной проволоки // Высокопрочная проволочная арматура и ее применение в железобетонных конструкциях. – Волгоград, 1977. – С. 44–49.

11. Ван дер Хорст А.К.К. Целесообразность перехода к единственному классу арматурной стали (перевод ВЦП № М-10579) // Cyment. – 1985. – № 1. – P. 19–22.

12. Воробьев В. А. Строительные материалы: Учебник для инженерно-строительных вузов. – М.: Висшая школа, 1973. – 376 с.

13. Высокопрочная витая проволочная арматура: Материал координационного совешания. (Москва. 1971 г.) / Под ред. К. В. Михайлова и Ф. М. Городницького. – М.: НИИЖБ. 1972. – 22 с.

14. Гвоздев А. А., Дмитриев С. А., Гуща Ю. П. и др. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций – М.: Стройиздат, 1978. – 263 с.

15. Гвоздев А. А., Дмитриев С. А., Крылов С. М. и др. Новое в проектировании бетонных и железобетонных конструкций – М.: Стройиздат, 1977. – 272 с.

16. Гвоздев А. А. Состояние и задачи исследования сцепления арматуры с бетоном // Бетон и железобетон. – 1968. – № 12 – С. 3–5.

17. Гнідець Б. Г., Щеглюк М. Р., Кавацюк І. Д. Електротермічне попереднє напруження будівельних конструкцій в умовах будівництва – Львів: СПОЛОМ, 2004 – 107 с.

18. Голишев О. Б., Бамбура А. М. Курс лекцій з основ розрахунку будівельних конструкцій і з опору залізобетону – К.: Логос, 2004. – 340 с.

19. Горячев Б. П. Особенности применения арматурной стали марки 80С класса А-IV в предварительно напряженных железобетонных настилах // Эффективные виды арматуры для железобетонних конструкций – М. 1970. – С. 82–109.

20. Горячекатаная стержневая арматурная сталь класса А-IV марки 80С. / Б. Р. Ратнер, В. А. Осташевский, С. А. Мадатян, И. Г. Хаит // Сб. трудов СКТБ. Главстройматериалов – № 42 (331М). – 1965. – 9 с.

21. ГОСТ 1579-93 (ИСО 7801-801) Проволока. Методы испытания на перегиб. – Введен с 01.01.1998. – К.: Госстандарт Украины, 1997 – 7 с.

22. ГОСТ 8478-81. Сетки сварные для железобетонных конструкций. Технические условия. – Введен с 01.01.1983. – М.: Издательство стандартов, 1991 – 8 с.

23. ГОСТ 14019-80. Металлы и сплавы, методы испытаний на изгиб.

24. ГОСТ 14098-91. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. – Введен с 01.07.1992. – М.: Издательство стандартов, 1992 – 38 с.

25. ГОСТ 23279. Сетки арматурные сварные для железобетонных конструкций и изделий.

26. Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини: Підручник. – К.: ТОВ УВПК «ЕксОб», К.: КНУБА, 2003. – 472 с.

27. Гуляев А. И. Высокопрочные арматурные стали. – М.: Металлургия, 1965.

28. Гуляев А. П. Арматурные стали / Сталь. – 1969. – № 7. – С. 8–9.

29. Гуляев А. П., Астафьев А. С., Волкова М. А. и др. Высокопрочные арматурные стали. – М.: Металлургия, 1966. – 138 с.

30. Гуменюк В. С. Требование к свойствам арматурных сталей для транспортного строительства // Бетон и железобетон. – 1990. – № 6 – С. 6–8.

31. Гуща Ю. П. Равномерные относительные удлинения высокопрочной стержневой арматуры. Межотраслевые вопросы строительства // Отечественный опыт. – 1967. – № 2. – С. 12–17.

32. Дмитриев С. А., Калатуров Б. А. Расчет предварительно напряженных железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1966.

33. Досюк В. Д. Автоматическая линия ДМ-2 для заготовки и натяжения высокопрочной арматуры // Бетон и железобетон. – 1982. – № 2 – С. 17–19.

34. ДСТУ Б А.1.1-60-95. Система стандартизації та нормування в будівництві. Технологія важких бетонів та залізобетонних виробів. Арматурні вироби та закладні елементи. Терміни та визначення. – Чинний від 01.07.1995 – К.: Держкоммістобудування України – 33 с.

35. ДСТУ 2651:2005 (ГОСТ 380-94) Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. – Чинний з 01.11.2006. – К.: Держспоживстандарт України, 2006 – 7 с.

36. ДСТУ 3058-95 (ГОСТ 7566-94). Металопродукція. Приймання, маркування, пакування, транспортування та зберігання. – Чинний з 01.07.1995. – К.: Держстандарт України, 1995 – 21 с.

37. ДСТУ 3760:2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. – Чинний від 01.01.2007. – К.: Держспоживстандарт України, 2007 – 18 с.

38. Евронормы. EN 10080. «Steel for reinforcement of concrete. – Weldable riddeb reinforcing steel B500. – Technical delivery conditions for bars, coils and welded. – CEN. 1995. – 43 p.

39. Евронормы. EN 10138. Prestressing steelю Parts 1, 2, 3 и 4. CEN, 1999. – 58 p.

40. Кауров. А. И. Новая высокопрочная арматурная сталь класса Ат-VII диаметром 10–25 мм // Бетон и железобетон. – 1990. – № 6. – С. 11–13.

41. Качанов Л. М. Теория ползучести. – М.: Физматгиз, 1960.

42. Кобрина М. М., Сверчкова А. Г. Влияние элементов периодического профиля на усталосную прочность стержневой арматуры. В сб.: «Экспериментально-теоретические исследования железобетонных конструкций». – М.: Госстройиздат, 1963.

43. Композитная неметалическая арматура для строительних конструкций / В. Ф. Степанова, Т. М. Красовская, С. В. Шахов, В. В. Беленчук // Материалы второй международной конференции: «Бетон и железобетон – пути розвития». – М.: 2005, – Том 5 – С. 476–482.

44. Красавская Г. М., Алексеев С. Н., Колмыков В. В. Коррозионные свойства новых видов термомеханически и термически упрочненной стержневой арматуры, Новые виды арматуры и ее сварка. – М.: НИИЖБ, 1982. – С. 143–147.

45. Красильников Л. А. Влияние некоторых технологических факторов на релаксацию напряжений в стальной проволоке. В кн.: «Релаксационные явления в металлах и сплавах». – М.: Металлургиздат, 1963.

46. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Барановский В. Б. и др. Будівельне матеріалознавство: Підручник. – К.: ТОВ УВПК «ЕксОб», 2004. – 704 с.

47. Кугушин А. А., Узлов И. Г., Калмыков В. В. и др. Высокопрочная арматурная сталь. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.

48. Кугушин А. А., Узлов И. Г., Мадатян С. А. и др. Высокопрочная арматурная сталь. – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.

49. Кужелев М. Ю. Свойства арматурной стали класса Ат-IVK // В кн.: Новое в создании и применении арматуры железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, – 1986. – С. 28–32.

50. Курбатов Л. Г., Рабинович Ф. Н. Об эффективности бетонов, армированных стальными фибрами. // Бетон и железобетон. – 1980. – № 3. – С. 6–7.

51. Леви С. С., Копелевич Л. Х. Арматурные работы. – М.: Стойиздат, 1973. – 184 с.

52. Мадатян С. А. Арматура железобетонных конструкций. – М.: Воентехлит, 2000. – 256 с.

53. Мадатян С. А. Исследования свойств новой горячекатаной арматурной стали марки 80С // Новые виды стальной и стеклопластиковой арматуры железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1966. – С. 6–25.

54. Мадатян С. А. Развитие теории упрочнения арматурной стали // Бетон и железобетон. – 1985. – № 5. – С. 35–37.

55. Мадатян С. А. Распределение остаточных деформаций по длине арматурных стержней. ЦНИИС. НТИ. Межотраслевые вопросы строительства // Отечественный опыт. – 1967. – № 2. – С. 6–11.

56. Мадатян С. А. Расчетный аппарат технической теории упрочнения арматуры при предварительном напряжении // Совершенствование конструкторских форм, методов расчета и проектирования железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1983. – С. 83–101.

57. Мадатян С. А. Стержневая арматура железобетонных конструкций. – М.: ВНИИНТПИ, 1991. – 75 с.

58. Мадатян С. А. Технология натяжения арматуры и несущая способность железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1980. – 196 с.

59. Мадатян С. А. Упрочнение вытяжкой стержневой арматуры из стали марки 35ГС // «Новые виды арматуры». НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1964. – С. 129–148.

60. Мадатян С. А., Федоров Д. А. Влияние преднапряжения на диаграмму растяжения арматуры класса К-7 // Бетон и железобетон. – 1990. – № 10 – С. 26–28.

61. Мадатян С. А., Черненко В. Т., Брагитский В. А. Эффективные виды арматуры // Бетон и железобетон. – 1988. – № 9. – С. 21–23.

62. Мамедов Т. И., Михайлов К. В. Повышение эффективности высокопрочной проволочной арматуры путем введения классов прочности // Бетон и железобетон. – 1985. – № 1. – С. 16–18.

63. Митасов В. М. Некоторые пути дальнейшего развития теории сопротивления железобетона // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1990. – № 10. – С. 3–9.

64. Михайлов К. В. Проволочная арматура для предварительно напряженного железобетона. – М.: Госстройиздат, 1964.

65. Михайлов К. В. Рогатин Ю. А. Перспективы развития железобетона и потребность в арматуре на период до 2010 // Бетон и железобетон. – 1990. – № 6 – С. 2–4.

66. Михайлов К. В. Становление современной номенклатуры арматурных сталей // Бетон и железобетон. – 1995. – № 2. – С. 6–8.

67. Михеев Ю. М. Оптимизация режимов упрочнения стали 35ГС для железобетонных конструкций: Автореф. дисс. канд. тех. наук – М., 1977. – 25 с.

68. Міждержавний стандарт ГОСТ 5781 (1991). Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – Введен с 01.07.1983 – М.: Госстандарт, 1984. – 14 с.

69. Міждержавний стандарт ГОСТ 6727-80. Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – Введен с 01.01.1983. – М.: Госстандарт, 1986. – 6 с.

70. Міждержавний стандарт ГОСТ 7348-81 (СТ СЭВ 5728-86). Проволока из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций. Технические условия. – Введен с 01.01.1983 – М.: Госстандарт, 1989. – 10 с.

71. Міждержавний стандарт ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия. – Минск, 1996. – 26 с.

72. Міждержавний стандарт ГОСТ 10922-90. Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия. – Введен с 01.01.1991. – М.:Издательство стандартов, 1990, – 30 с.

73. Міждержавний стандарт ГОСТ 12004-84. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. – Введен с 01.07.198 – М.: Издательство стандартов, 1986. – 15 с.

74. Міждержавний стандарт ГОСТ 13840. Канаты стальные арматурные 1х7. Технические условия. – Введен с 01.01.1969 – М.: Издательство стандартов, 1988. – 7 с.

75. Міждержавний стандарт ГОСТ 15150-69 (СТ СЭВ 6136-87, СТ СЭВ 460-77, СТ СЭВ 991-78). Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Введен с 01.01.1971 – М.: Издательство стандартов, 1989 – 56 с.

76. Мулин Н. М., Мадатян С. А., Джаназян С. С. Исследование реологических свойств горячекатаной арматурной стали класса А-IV новых марок // Сб: «Новые виды эффективной стальной и стеклопластиковой арматуры». – М.: Стройиздат, 1966.

77. Мулин Н. М., Мадатян С. А., Кочетов А. И. К выходу Государственного стандарта «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение» // Бетон и железобетон. – 1966. – № 11. – С. 17–20.

78. Мулин Н. М., Мешков В. З. О механических свойствах горячекатаных арматурных сталей при низких температурах. Проблемы прочности. – 1970. – № 8. – С. 115–118.

79. Мулин Н. М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1974. – 233 с.

80. Мурашев В. И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона. – М.: Машстройиздат, 1950. – 286 с.

81. Першаков В. М., Барашиков А. Я., Калішенко М. М. Будівельні конструкції. Залізобетонні конструкції. Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2001 – 196 с.

82. Пилипченко Ю. И. Проявление эффекта ВТМО при термическом упрочнении арматурной стали 20ГС в процессе прокатки // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1975. – № 5. – С. 30–32.

83. Предельные состояния элементов железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1976. – 216 с.

84. Применение стали с пределом текучести выше 600 Н/мм2 для арматуры железобетона. СЭВ. Тема 1.26/5.85. – Будапешт. – 1985, сентябрь. – 13 с.

85. Прикін Б. В., Борщ І. М., Коробкова О. М. Арматура і арматурні вироби у виробництві збірного залізобетону. – М.:Вища школа, 1973. – 256 с.

86. Прыкин Б. В. Неупругие свойства арматуры железобетонных конструкций. – К.: Будівельник, 1969.

87. Прыкин Б. В. Технологическая подготовка производства железобетонных конструкций. – К.: Будівельник, 1970.

88. Рабинович Ф. Н. Бетоны, дисперсно-армированные волокнами. Обзор ВНИИЭСМ – М., 1976. – 73 с.

89. Рабинович Ф. Н. Дисперсно армированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.

90. Ратнер Б. Р. Экономичная сталь для периодических профилей. – М.: Металлургиздат, 1963. – 125 с.

91. Ратц Э. Г. Железобетон с электрооотермическим натяжением арматуры. – М.: Стройиздат, – 1976. – 231 с.

92. Рекомендации по замене арматуры, по замене видов стали, по использованию отходов арматурных сталей. Ограничения накладываемые на замену армирования. Порядок оформления замены арматуры. – М.: Государственний комитет по архитектуре и градостроительству при ГОССТРОЙ СССР, ЦНИИЭПЖилища, 1988 – 48 с.

93. Рекомендации по применению арматурного проката по ДСТУ 3760-98 при проектировании и изготовлении железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры. – Госстрой Украины, Технический комитет по стандартизации «Арматура для железобетонных конструкций». – Киев, 2002. – 39 с.

94. Рекомендации по применению в железобетонных конструкциях эффективных видов стержневой арматуры. – М.: НИИЖБ, 1987. – 47 с.

95. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного натяжения). – М.: Стойиздат, 1978. – 320 с.

96. Рискинд Б. Я., Масленников В. Н., Кучер Б. В., Шорникова Г. Н. Арматура нового периодического профиля и ее использование на выносливость и сцепление с бетоном // Железобетон и железобетонные конструкции. – УралНИИстройпроект, 1967. – С. 51–54.

97. Русанова Н. Г., Пальчик П. П., Рижанкова Л. М. Технологія бетонних і залізобетонних конструкцій: Підручник: Частина 2. Виготовлення бетонних і залізобетонних конструкцій. – К.: «Вища школа», 1994. – 334 с.

98. Семенов А. И. Предварительно напряженный железобетон с витой проволочной арматурной. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.

99. Скляр Б. Л. Изменение остаточных удлинений проволоки после разрыва // Заводская лаборатория, 1963. – № 9. – С. 1129–1133.

100. Скоробогатов С. М. Основы теории расчета выносливости стержневой арматуры железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1976. – 108 с.

101. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.

102. СНиП 2.03.11. Защита строительных конструкций от коррозии.

103. СНиП 3.03.01. Несущие и ограждающие конструкции.

104. Соколовский П. И. Арматурные стали. – М.: Металлургия, 1964. – 208 с.

105. Справочник по производству сборных железобетонных изделий / Г. И. Бердичевский, А. П. Васильєв, А. А. Малинина и др./ Под ред. К. В. Михайлова. – М.: Стройиздат, 1989. – 447 с.

106. Стандарт ISO/DIS 6935-2. Steel for the reinforcement of concrete. Part 2. Ribbed bars. – 1990.

107. Стандарт ISO/DIS 6935-5. Steel for the reinforcement of concrete. Part 5. – 1990.

108. Стародубова К. Ф., Узлов И. Г., Савенков В. Я. и др. Термическое упрочнение проката. – М.: Металлургия. – 1970. – 368 с.

109. СТО АСЧМ 7-93. Прокат периодического профиля из арматурной стали. Технические условия. – Ассоциация Черметстандарт. – М.: 1993. – 22 с.

110. Суриков И. Н., Худик Ю. Т., Івченко А. В. Термомеханически упрочненная сталь класса Ат-IVC // Бетон и железобетон. – 1990. – № 6. – С. 8–9.

111. Теория железобетона / Под ред. К. В. Михайлова и А. С. Дмитриева. – М.: Стройиздат, 1972. – 190 с.

112. Терминология по стали для преднапряженного железобетона. Русский, английский и французский тексты. / Документ ФИП-ЕКБ-РИЛЕМ. 24.1.20. – 1976. – 12 с.

113. Токорев М. С., Альперт А. А. Исследование конструкций армированных сварными каркасами из стали класса А-IIIв // Бетон и железобетон. – 1987. – № 11. – С. 37–38

114. Третьяков А. К., Рожненко М. Д. Арматурные и бетонные работы: Учебник для средних проф.-тех. училищь. – М.: Вища школа, 1982. – 280 с.

115. ТУ У В.2.7-26.1-30700388-001-2002 Ровінг і зрізи із базальтової комплексної нитки. Технічні умови. – ЗАО«НТБ» – 2002 – 8 с.

116. ТУ У В.2.7-28.7-00242861-005:2005 Фібра сталева. Технічні умови – 16 с.

117. ТУ У В.2.7-28.7-32843212-003:2005 Фібра із сталевого дроту періодичного профілю для армування бетонів. Технічні умови – 13 с.

118. ТУ У 14-4-440-99. Прокат арматурный немерной длины для армирования железобетонных конструкций

119. ТУ У 14-4-506-2001. Прокат арматурный периодического профиля для армирования железобетонных конструкций.

120. ТУ У 27.1-4-536-2002. Проволока для армирования железобетонных конструкций.

121. ТУ У 27.1-4-551-2003. Прокат арматурний класу А550С для залізобетонних конструкцій – введений з 01.08.2003.

122. ТУ У 322-4-393-96. Прокат арматурный, свариваемый из низколегированной стали с регламентированным химическим составом.

123. Фридман А. М., Зборовский Л. А., Исаев Г. И. Свариваемость термически упрочненной арматуры // Бетон и железобетон. – 1982. – № 12. – С. 12–14.

124. Фридман А. М., Исида О. Н. Режимы сварки арматурной стали класса A-V // Новая горячекатаная арматурная сталь класса A-V – М.: НИИЖБ, – 1973. – С. 39–44.

125. Фролов Н. П. Стеклопластиковая арматура и стеклопластиковые конструкции. – М.: Стройиздат, 1980 – 104 с.

126. Холмянский М. М., Алиев Ш. А., Белович Ф. С. Экспериментальное определение поперечного давления арматуры периодического профиля на бетон // Сб.трудов ВНИИжелезобетон. – М.: 1971. – Вып. № 9. – С. 114–125.

127. Холмянский М. М. Контакт арматуры с бетоном. – М.: Стройиздат, 1981. – 184 с.

128. Холмянский М. М. Трещинообразование в результате раскалывания бетона арматурой. – М.: Стройиздат, 1968. – С. 118–144.

129. Цанко Цанков и др. Влияние на геометрична на профила вірху механичните показатели на тепловалцуваните арматурни стомания // Рудодобив металлргія. – Болгария, 1965. – № 3.

130. Шеремет В. А., Жильцов Н. П., Омесь Н. М. и др Исследование свариваемости термомеханически упрочненного арматурного проката класса А500С // Бетон и железобетон в Украине – 2002. – № 1.

131. Юхвец И. А. Производство высокопрочной проволочной арматуры. – М.: Металлургия, 1973. – 264 с.

132. Baus R., Brenneisen A. Fatigue et rupture des structures de classe III. VI Congress de la FIP. – Prague. 1970. – 98 p.

133. Bst 500 nach DIN 488. Eine Jnformation der Tempcore – Grupp. Juni 1986. – 3 p.

134. Effects of Ni, Si and Cu on the properties of steel for prestressed concrete // Tetsuo Shirada, Nobuyuki Jshikawa и др. NKK Techical review. – 1996. – № 75. – P. 11–18

135. FIP TECHNICAL REPORT «TENDENS». Commission 2. Prestressing materials and systems / May – 1994. – 36 p.

136. High-strength fibrous elements for structural application. 1998. FIP commission 2/ fib commission № 9 – 50 p.

137. Simon H., Economopoles M., Nilles P. Tempcore. A New process for the production of high-guality reinforcing bars // Jron and steel Engineer. – 1984. March. – P. 53–57.

Наукове видання

АРМАТУРА ДЛЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Під ред. *Є. М. Петрикова*

Комп'ютерне верстання
СПД *Васильковська К. М.*

Підписано до друку 25.02.2010 р.
Формат 70×100/16. Папір офсетний № 1.
Гарнітура Times. Друк офсетний.
Ум.-друк. арк. 20,64.
Зам. № 10-83.

Видавництво ТОВ «Основа»
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців
ДК № 1981 від 21.10.2004 р.
01032, м. Київ-32, вул. Жилянська, 87/30.
Тел.: (044) 239-38-97, т/ф: 239-38-95, 239-38-96.

Видрукувано ТОВ «Основа-Принт»
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців
ДК № 2072 від 25.01.2005 р.



ПЕТРИКОВА Євгенія Миколаївна,
*кандидат технічних наук,
доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів Київського національного університету будівництва і архітектури.*
Автор понад 35 опублікованих робіт, доповідей на міжнародних конференціях.